Technologies to Unlock Our Resources

85-0151/

Technologies to Unlock Our Resources

Federal Research in Minerals, Metals and Fuels

CANMET
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

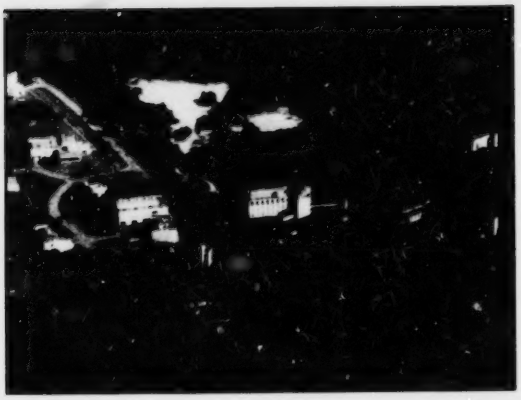
Table of Contents

Introduction	4
CANMET Organization	6
CANMET Energy Research	8
Coal	8
Assessing the Reserves	9
Coal Mine Technology	9
Ground stability	9
Coal mine environment	11
Equipment safety	12
Coal Preparation	13
Cokemaking Research	15
Coal Liquefaction and Gasification	16
Conventional Coal Combustion	18
Fluidized-bed Combustion	18
Coal Transportation	19
Peat as Fuel	19
Petroleum	20
CANMET Hydrocracking Process	20
Combustion Research	21
Home Heating	21
Automobile Engine Performance	23
Nuclear and Electrical Energy	23
Uranium Policy and URAG	23
Uranium Extraction	24
Nuclear Waste Disposal	25
Electrical Ceramics	25
CANMET Minerals Research	26
Mineral Resource Determination	26
Mining Technology	26
Surface Mining	26
Underground Mining	27
Diamond Drilling	28

Mineral Processing	29
Sulphide Ores	29
Iron Ore	31
Alumina	31
Mineral Insulation	32
Preparation of Certified Reference Materials	32
Mineral Utilization	32
Corrosion and Abrasion Research	32
Better Steels and Metal-forming Techniques	33
Fracture and Stress Analysis	36
Metal Melting and Casting	37
Cement and Concrete	38
Conservation of Minerals and Metals	39
Environment, Health and Safety	39
Underground Environment	39
Uranium Tailings	41
Sulphide Tailings	42
Pyrometallurgical Emissions	42
Plant Environment	42
Testing and Authorization of Explosives	44
Technology Information and Transfer	46
The Future at CANMET	47

Introduction

From the earliest days, we have depended on the rocks of the Earth for many of our most basic needs. The Stone Age people used pieces of rocks as tools. Much later, their descendants discovered elementary ways to extract certain metals from rock. Eventually they learned to combine two of these early metals -- tin and copper — to form bronze, and an entire age of human development came to be named after this achievement.

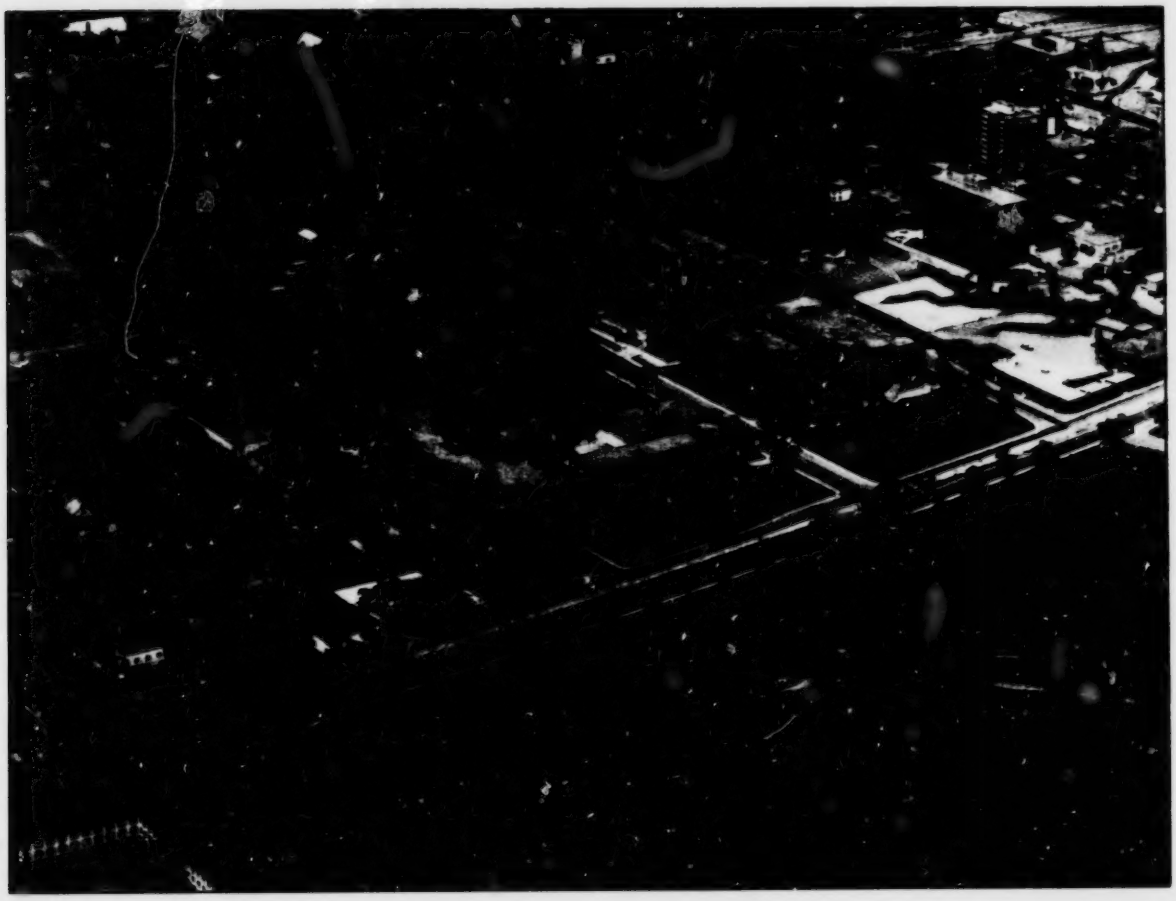


CANMET's Bells Corners Complex, near Ottawa.

The discovery of iron and other metals followed, as well as newer and better ways of working metal to create useful products. Many non-metallic minerals were also recognized and put to use, three of the most important being the fossil fuels — oil, natural gas and coal — sources of energy that have played such a dominant role in the development of modern industrial society.

The Canadian landmass has large and diverse mineral deposits that contribute significantly to the country's economy — Canada is the world's third largest producer and the largest exporter of minerals. In fact, the total value of mineral production today accounts for more than 10 per cent of the Gross National Product.

Canada holds this favourable position in the world's mineral markets despite a generally higher level of wages and lower ore grades than are found in many other major mineral-exporting countries. These competitive disadvantages are countered in great measure by an offsetting advantage — superior mining and mineral-processing technologies. Much of the credit for this competitive edge is due to the work of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), which has been researching and developing safer and more efficient ways to extract, process and utilize Canadian minerals for more than 75 years.



EMR'S Booth Street Complex, Ottawa. CANMET laboratories occupy the northern portion of the complex (in outline).

CANMET Organization

The Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), the major technological research arm of the Department of Energy, Mines and Resources, was established in 1907 as the federal Mines Branch, to help meet the research and development (R&D) needs of a young and rapidly developing Canadian mining industry. The scope of the Branch's work grew over the years, and in 1974 it was reorganized and renamed to reflect more accurately a range of activities in two distinct but related fields — minerals technology and energy technology.

The mission of CANMET, reaffirmed in 1982, is to enhance the role and contribution of minerals and energy to the Canadian economy by means of mission-oriented research and development in mining, mineral processing and utilization of metals, industrial minerals and fuels, which

- provide information to the Minister for making nonrenewable resource related policies;
- serve government social objectives for health and safety and the environment; and
- are supportive to R&D performed by industry in order to improve the economic performance and productivity of industry.

To fulfill its mandate CANMET carries out basic and applied research, development, demonstration and transfer of new technology to industry. This work is not carried out in isolation — close links are maintained with industry and other research organizations to ensure that all projects are undertaken in response to, or in anticipation of, real needs and problems. In this regard, the National Advisory Committee on Mining and Metallurgical Research (NACMMR) plays an important advisory role in CANMET's program.

Much of CANMET's current energy research stems from today's pressing need to conserve fuels, to make better use of existing sources of energy and to develop new sources. Similarly, on the minerals side, since the country's higher grade ores and more easily accessible deposits are becoming depleted, emphasis is placed on developing techniques for mining very deep and less accessible orebodies, as well as on finding ways to recover minerals from problem ores — those that may have lower grades or a complex composition that makes mineral extraction difficult and uneconomical.

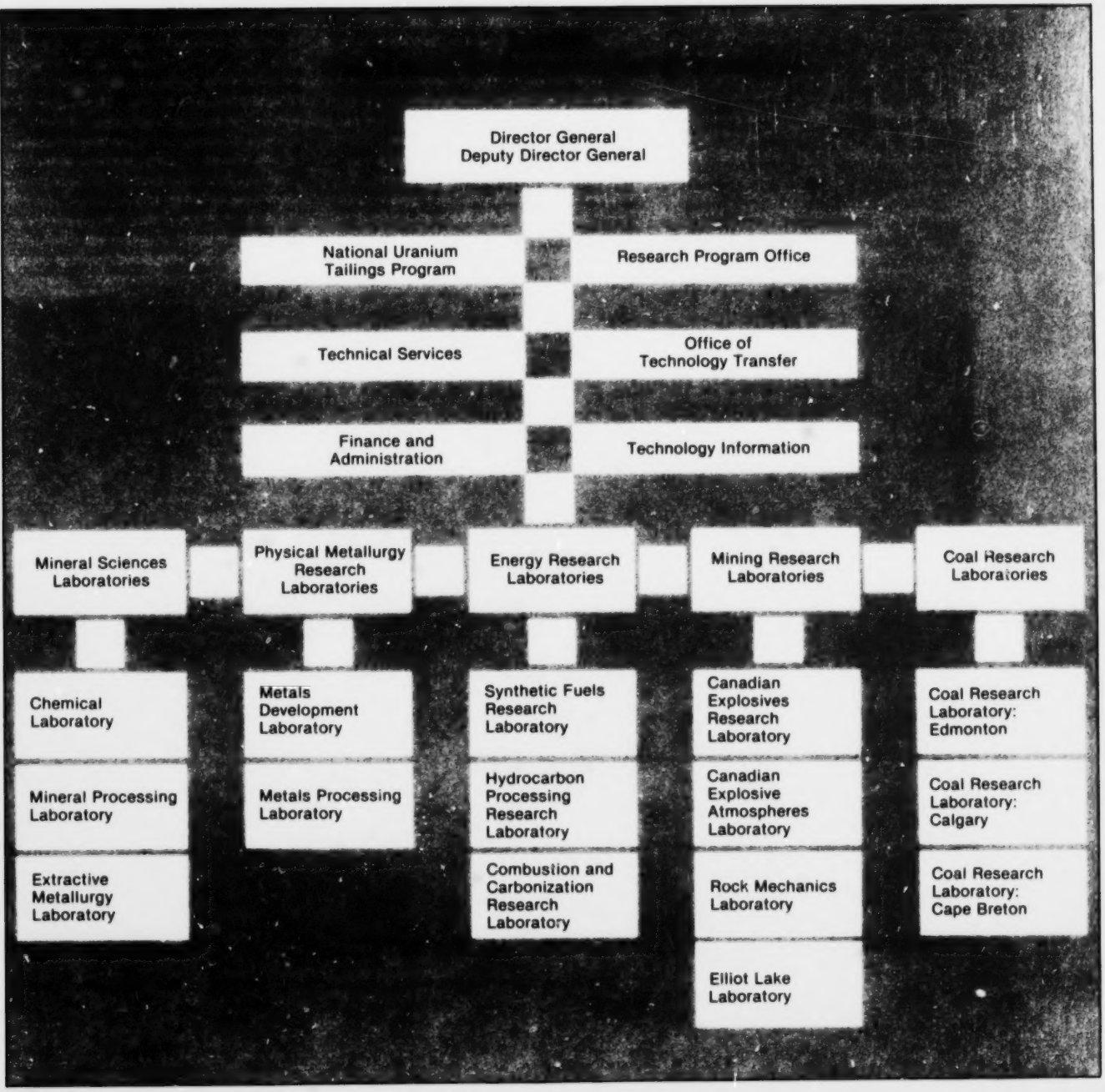
Another important aspect of CANMET's work is its research to improve the quality and serviceability of metals and other materials derived from minerals, and to improve processes for casting, forming and welding metals. Much of this work relates to impending resource development offshore and in the Far North, where more rugged structural and marine materials will be needed.

Major efforts are also being made to reduce health and safety problems in mining, and to minimize the environmental impact of effluents from the mining and mineral-processing industries, as well as from the increased burning of coal as an alternative fuel.

The CANMET staff consists of some 800 scientists, engineers, technicians and other support staff. In keeping with government policy, about one quarter of the yearly budget goes into contracts for R&D projects conducted on behalf of CANMET by private industry and universities.

CANMET's activities fall into five broad categories — energy research, mineral sciences, physical metallurgy, mining research and coal research. CANMET is also responsible, under the Canada Explosives Act, for testing all explosive materials used in Canada. The Centre's work is carried out in a number of laboratories and pilot plants located in Ottawa and at several other locations. (See organization chart.)

The CANMET headquarters group in Ottawa includes the Office of the Director General, a Research Program Office, an Office of Technology Transfer, a Technology Information Division and a Technical Services Division. The Program Office, interacting with laboratory line management, is responsible for the planning and evaluation of all activites. The Office of Technology Transfer is responsible for technical-economic studies and the promotion and encouragement of technology transfer from CANMET to Canadian industry.


Director General
Deputy Director General
National Uranium Tailings Program
Research Program Office
Technical Services
Office of Technology Transfer
Finance and Administration
Technology Information
Mineral Sciences Laboratories
Physical Metallurgy Research Laboratories
Energy Research Laboratories
Mining Research Laboratories
Coal Research Laboratories
Chemical Laboratory
Mineral Processing Laboratory
Extractive Metallurgy Laboratory
Metals Development Laboratory
Metals Processing Laboratory
Synthetic Fuels Research Laboratory
Hydrocarbon Processing Research Laboratory
Combustion and Carbonization Research Laboratory
Canadian Explosives Research Laboratory
Canadian Explosive Atmospheres Laboratory
Rock Mechanics Laboratory
Elliot Lake Laboratory
Coal Research Laboratory: Edmonton
Coal Research Laboratory: Calgary
Coal Research Laboratory: Cape Breton

CANMET Organization

The Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), the major technological research arm of the Department of Energy, Mines and Resources, was established in 1907 as the federal Mines Branch, to help meet the research and development (R&D) needs of a young and rapidly developing Canadian mining industry. The scope of the Branch's work grew over the years, and in 1974 it was reorganized and renamed to reflect more accurately a range of activities in two distinct but related fields — minerals technology and energy technology.

The mission of CANMET, reaffirmed in 1982, is to enhance the role and contribution of minerals and energy to the Canadian economy by means of mission-oriented research and development in mining, mineral processing and utilization of metals, industrial minerals and fuels, which

- provide information to the Minister for making nonrenewable resource related policies;
- serve government social objectives for health and safety and the environment; and
- are supportive to R&D performed by industry in order to improve the economic performance and productivity of industry.

To fulfill its mandate CANMET carries out basic and applied research, development, demonstration and transfer of new technology to industry. This work is not carried out in isolation — close links are maintained with industry and other research organizations to ensure that all projects are undertaken in response to, or in anticipation of, real needs and problems. In this regard, the National Advisory Committee on Mining and Metallurgical Research (NACMMR) plays an important advisory role in CANMET's program.

Much of CANMET's current energy research stems from today's pressing need to conserve fuels, to make better use of existing sources of energy and to develop new sources. Similarly, on the minerals side, since the country's higher grade ores and more easily accessible deposits are becoming depleted, emphasis is placed on developing techniques for mining very deep and less accessible orebodies, as well as on finding ways to recover minerals from problem ores — those that may have lower grades or a complex composition that makes mineral extraction difficult and uneconomical.

Another important aspect of CANMET's work is its research to improve the quality and serviceability of metals and other materials derived from minerals, and to improve processes for casting, forming and welding metals. Much of this work relates to impending resource development offshore and in the Far North, where more rugged structural and marine materials will be needed.

Major efforts are also being made to reduce health and safety problems in mining, and to minimize the environmental impact of effluents from the mining and mineral-processing industries, as well as from the increased burning of coal as an alternative fuel.

The CANMET staff consists of some 800 scientists, engineers, technicians and other support staff. In keeping with government policy, about one quarter of the yearly budget goes into contracts for R&D projects conducted on behalf of CANMET by private industry and universities.

CANMET's activities fall into five broad categories — energy research, mineral sciences, physical metallurgy, mining research and coal research. CANMET is also responsible, under the Canada Explosives Act, for testing all explosive materials used in Canada. The Centre's work is carried out in a number of laboratories and pilot plants located in Ottawa and at several other locations. (See organization chart.)

The CANMET headquarters group in Ottawa includes the Office of the Director General, a Research Program Office, an Office of Technology Transfer, a Technology Information Division and a Technical Services Division. The Program Office, interacting with laboratory line management, is responsible for the planning and evaluation of all activites. The Office of Technology Transfer is responsible for technical-economic studies and the promotion and encouragement of technology transfer from CANMET to Canadian industry.

CANMET
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Director General
Deputy Director General

National Uranium Tailings Program

Research Program Office

Technical Services

Office of Technology Transfer

Finance and Administration

Technology Information

Mineral Sciences Laboratories	Physical Metallurgy Research Laboratories	Energy Research Laboratories	Mining Research Laboratories	Coal Research Laboratories
Chemical Laboratory	Metals Development Laboratory	Synthetic Fuels Research Laboratory	Canadian Explosives Research Laboratory	Coal Research Laboratory: Edmonton
Mineral Processing Laboratory	Metals Processing Laboratory	Hydrocarbon Processing Research Laboratory	Canadian Explosive Atmospheres Laboratory	Coal Research Laboratory: Calgary
Extractive Metallurgy Laboratory		Combustion and Carbonization Research Laboratory	Rock Mechanics Laboratory	Coal Research Laboratory: Cape Breton
			Elliot Lake Laboratory	

An ample and secure supply of energy to provide heat and mobility is vital in such a vast northern country as Canada. Energy research at CANMET is directed mainly towards improved recovery, processing and use of coal, nuclear fuel and nonconventional sources of petroleum. Particular attention is paid to low-grade fuels, and high priority is given to health and safety, and to protecting the environment.

Coal

Coal is the one fossil fuel likely to remain abundant for the remainder of this century and well into the next. It is therefore one of the replacement fuels available now to span the gap between the waning era of oil and natural gas and the time when suitable alternative energy sources can be developed.

The three principal uses for coal are power generation (thermal coal), cokemaking for the steel industry (metallurgical coal), and coal conversion (gasification and liquefaction). Each use requires coal with specific characteristics and qualities.

Although one piece of coal may look much like another, there are many ranks and qualities. The higher the rank, the greater the heating value. There are four basic ranks, ranging from the hardest which is anthracite — and there is very little anthracite in Canada — through bituminous to the next lower rank, subbituminous, and finally the lowest and softest which is lignite.

All have their uses. Bituminous coals, for example, are suitable for making coke. Some can be used directly for cokemaking, while others must be blended, depending on their characteristics. Subbituminous and lignitic coals can be used as thermal coal — burned to provide either heat or steam for the generation of electric power. In all cases the qualities must be taken into consideration. This includes the amount of ash, sulphur and other impurities present, and the extent to which these can be removed.

Most of Canada's extensive coal resources are in the West — more than 75 per cent in Alberta alone, plus another 15 per cent in British Columbia. Saskatchewan also has significant deposits, as well as Nova Scotia and New Brunswick in eastern Canada. Western coals are high in ash and low in sulphur content, while the reverse is true for the eastern coals.

Coals suitable for cokemaking are produced in Alberta, British Columbia and Nova Scotia. Coals of various qualities suitable for the thermal coal market are produced in Nova Scotia, New Brunswick, Saskatchewan, Alberta and British Columbia. Lignite is found in Saskatchewan, and there is one known occurrence in northern Ontario. Some semianthracitic coal occurs in Alberta's Rocky Mountains and farther west in British Columbia there are occurrences of anthracite. Coal also is found in the far north.

CANMET's research includes assessment of Canada's coal reserves and coal quality, development of better and safer mining techniques, and improved methods of preparing coal for its various end uses.

Assessing the Reserves

In addition to assessing coal quality for industry on a cost-recovery basis, CANMET cooperates with coal-producing provinces in assessing the quality of their coal deposits by providing analytical services, interpretation and data management. Using samples of coal supplied periodically by all Canadian mines, CANMET generates data used to keep the publication *Analysis Directory of Canadian Commercial Coals* up to date.

Coal Mine Technology

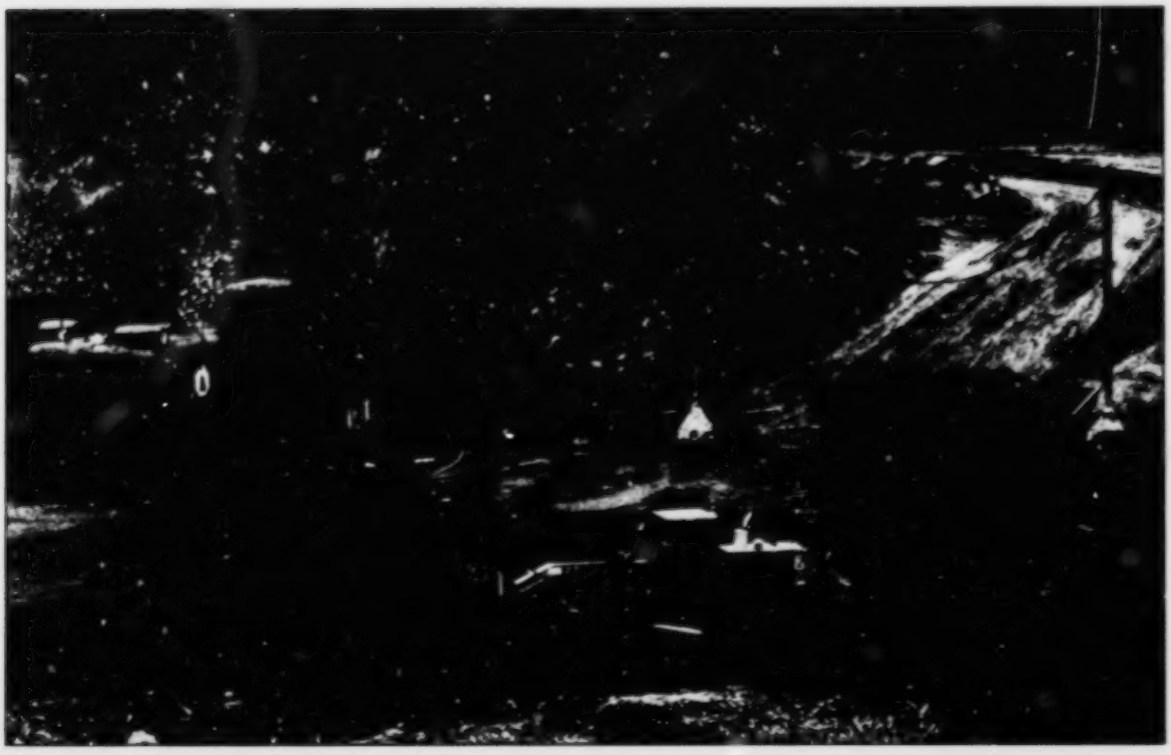
Canadian mines produced more than 39 million tonnes of coal in 1981. By the year 2000 this volume could increase to between 100 and 150 million tonnes. It is vital that mining technology keep pace with this rapid rate of growth.

About 85 per cent of Canada's coal comes from surface mining, mostly on the Prairies; the remaining 15 per cent is recovered from underground mines. In the coming years as in the past, the greatest technological challenges will lie in underground mining, where ground stability and a safe working atmosphere are critical requirements.

Ground Stability

The methods of underground mining employed depend on various characteristics of the coal seams — shape, thickness and angle — the depth of the coal and the degree of geologic disturbance. Conventional underground coal mines, with horizontal or nearly horizontal coal seams,

Western Canadian coal arrives at a British Columbia terminal for overseas shipment.



Open-pit coal mine in western Canada.

employ 'room-and-pillar' and 'longwall' mining methods. In room-and-pillar, narrow openings or roadways are carved into the seam, leaving a checkerboard pattern of coal pillars for roof support. Pillars are often later removed, permitting the overlying rock to collapse. In longwall mining, widely spaced roadways are excavated, outlining large blocks of coal that are later removed.

In eastern Canada, most of the coal mined underground is recovered by longwall methods, with some mines reaching out several kilometres under the Atlantic Ocean. In western Canada, the coal is mined underground by room-and-pillar and by hydraulic mining methods.

Hydraulic mining employs a powerful, high-pressure water jet to dislodge the coal. The water then acts as a medium of transportation as the coal is flumed out for dewatering at the surface. A large proportion of the coal in the seam being mined is removed by this system, at a lower cost than by other methods. Also, with reduced amounts of dust, it provides a less hazardous working climate for the miners.

Specially designed and custom-built instruments have been developed by CANMET to monitor both surface effects and subterranean stresses resulting from underground mining activity. The instruments monitor pillar deformation, load distribution on mine roadway supports, strata movements above and below the coal seam, roof-to-floor convergence, and surface subsidence.

In an underground coal mine, hydraulic equipment is used to drive roof bolts for greater stability.

In surface subsidence studies, mining experts are attempting to discover what happens at the surface as coal is removed underground. The most advanced methods being developed include the use of photogrammetry, as well as laser and radio devices to measure distance, permitting the detection of very small surface changes despite snow cover and the irregularities of mountain terrain. Such equipment can be used to monitor surface movements over most mining operations.

Coal Mine Environment

The environment of underground coal mines presents a number of potential hazards to miners. Methane gas and coal-dust explosions have been among the major perils since people first began burrowing underground following seams of coal. Coal can also react with oxygen in air, resulting in the production of heat and eventual combustion.

Throughout the history of underground coal mining, various systems of detecting hazards have been used including the simple use of the nose to detect what was called 'fire stink', a distinctive smell that indicated the development of underground heating and possible spontaneous combustion. Canaries have also been used in coal mines to indicate the presence of toxic gas. More recently, effective hand-held instruments such as the methanometer have proved effective for the easy detection of methane.

Now, CANMET has adapted a military infrared viewer for sensing environmental heating. As this small instrument can also sense body heat, it can be used to locate injured miners in a darkened mine. This compact viewer not only provides a 'real time' image of heating as it occurs, it can also record the image on film.

CANMET's Mining Research Laboratories have also made significant progress on a project jointly funded by government and industry to provide early warning of spontaneous combustion and to monitor concentrations of hazardous gases. Working at both Bells Corners and Calgary, CANMET scientists have introduced a system for simultaneously sampling mine air and analyzing it for carbon monoxide from four different points in a mine. The level of carbon monoxide indicates the degree of danger of spontaneous combustion. Polyethylene tubes are extended down four separate mine roadways and air samples drawn through them at 15-minute intervals to an analyzer at the surface. The system indicates any early heating trend and its location, permitting countermeasures to be taken while mining operations carry on.

The tubes can be used to analyze both carbon monoxide and methane, but whereas it takes some time for coal to reach ignition point for spontaneous combustion, methane outbursts require more immediate analysis and remedial action. The lag time between the moment of detection of methane in the mine and analysis at the surface needs to be shortened, and a telemetry system is being considered to provide more immediate warning of high methane concentrations.

As noted, some Nova Scotia coal mines extend beneath the ocean floor and present special safety problems. The CANMET Cape Breton Coal Research Laboratory was established at Sydney in 1981 to study the hazards of methane and coal-dust explosions, methane emissions, ventilation and rock control in the setting of the Cape Breton mines. This laboratory will be able to draw on the expertise at the main CANMET laboratories in Ottawa as well as the other mining research centres at Elliot Lake and Calgary.

Equipment Safety

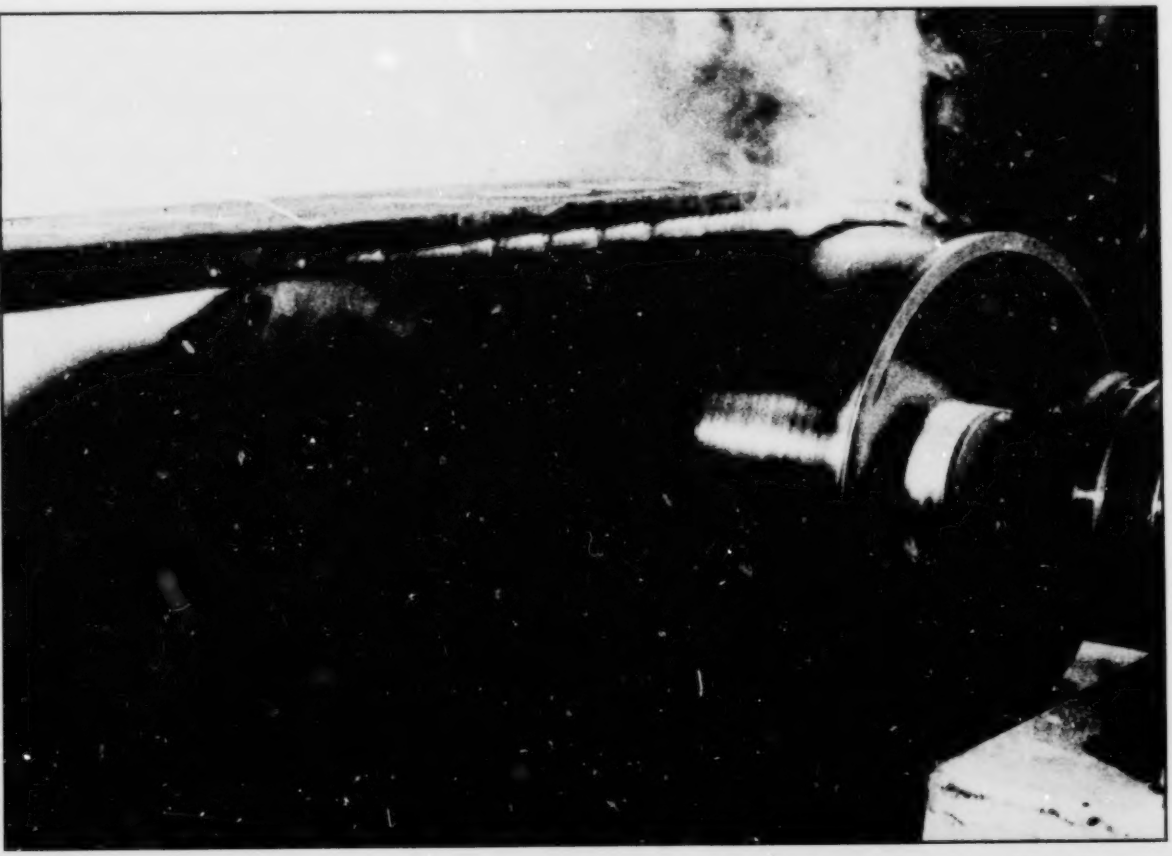
The EMR certification mark must appear on all electrical and diesel-powered equipment used in underground coal mines and on some materials used in all underground mines. This mark indicates that the equipment or material has been tested and certified by CANMET's Canadian Explosive Atmospheres Laboratory.

Diesel machinery, electrical equipment and certain metals may create a spark or sufficient heat to cause an explosion. Besides certifying that the operating temperature of such equipment is below the ignition temperature of coal dust, and that the apparatus is not capable of igniting the ever-present methane, the laboratory testing also ensures that underground material such as conveyor belts, cable jackets, flexible air ducts, and hydraulic fluids are not flammable, and that diesel equipment does not emit flames or high levels of toxic gases.

CANMET is now attempting to produce a virtually pollution-free diesel engine vehicle through a combination of treatment devices such as water scrubbers, dry filters, and water and methanol injection. (See *Environment, Health and Safety*.)

Impact test on a mine-lamp safety globe.

This console at the Canadian Explosive Atmospheres Laboratory (CEAL) is the control centre from which electrical equipment intended for use in underground coal mines is tested in an explosive gas/air atmosphere.



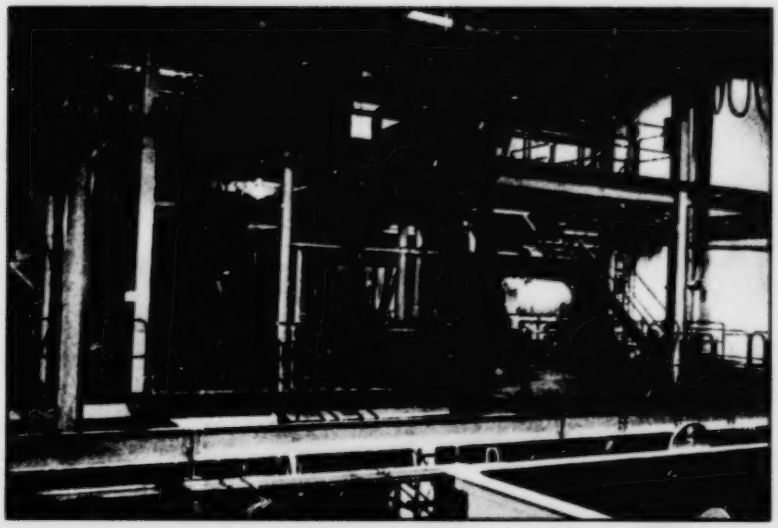
This mine conveyor belt failed under rigorous testing at the Canadian Explosive Atmospheres Laboratory (CEAL).

Coal Preparation

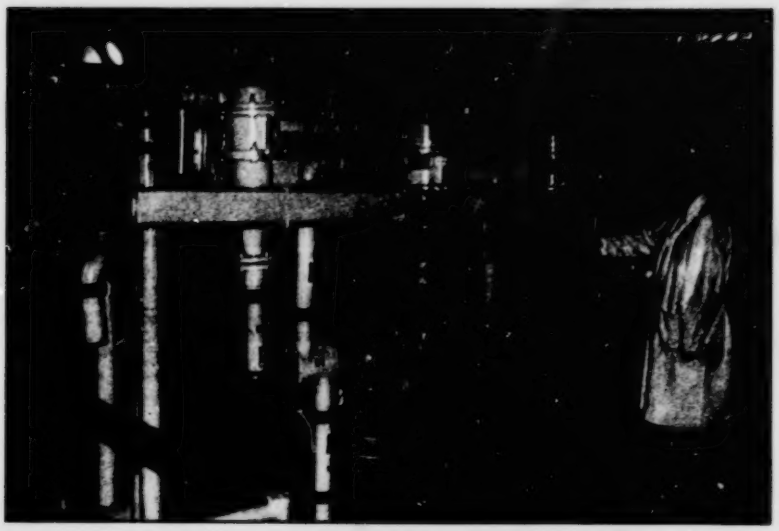
Coal is regarded by many as a combustible material that is simply dug from the ground, loaded on a train and delivered to its destination. However, most coal must be carefully processed — freed of impurities, dried and sized to the buyer's specifications. Since Canadian coals vary widely in their rank and quality, and since those of western Canada differ in geological origin from most other coals, their proper preparation for end use presents many difficulties.

CANMET's Coal Research Laboratory at Edmonton has been serving the Canadian coal industry for more than three decades, searching for new and more efficient methods of preparing coal for market. In addition to providing advice on specific problems at individual plants, CANMET has designed and developed many techniques and systems that have been adopted by the coal industry.

Satisfactory preparation of fine coal has always posed special problems. Since the 'fines' content of coal from Canada's western foothills and mountains is about double that of the coals produced in most other parts of the world, the major thrust of CANMET's coal-preparation research has been to find or develop the most effective methods for cleaning these coals.



The coal-preparation pilot plant at CANMET's Coal Research Laboratory (CRL), Edmonton.



Several cyclones can be seen in this portion of the coal-cleaning circuit at the Coal Research Laboratory (CRL), Edmonton.

Related work on eastern Canadian coals is conducted in the Mineral Sciences Laboratories in Ottawa, which also provide support in more basic science and in chemical analysis.

The work on fine coals soon led to the design and construction of a special pilot plant at Edmonton for cleaning coal. Over the years the pilot plant has undergone many additions and design alterations, so that it has the flexibility to analyze the cleaning requirements of various types of coal using a full range of techniques and equipment. Today the plant is semi-automated, and the use of computer models to improve coal-cleaning analysis is progressing well.

Operation of the pilot plant has led to a number of patented systems and designs. The most notable example is the CWC — the compound water cyclone — developed at Edmonton and incorporated into the pilot plant in 1961. CWC cyclones are now in widespread use in Canada and other countries. In particular, the CWC cyclone is being used effectively to clean fine coal that is partially oxidized — a condition that creates problems and leads to losses in froth flotation, the conventional method of separating very fine coal from waste materials. Oxidation of coal occurs in seams that have been exposed to air or oxygenated groundwater — it creates problems at many mines in western Canada.

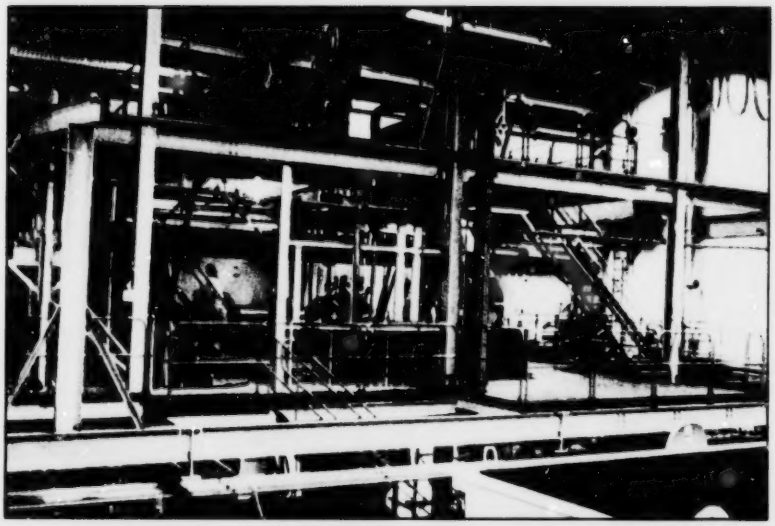
CANMET's coal preparation research also includes studies on ways to improve the treatment of waste water from coal-cleaning plants. This work is aimed at reducing pollution and recycling water in the coal-cleaning operation. To make their studies more effective, scientists at the Edmonton laboratory have designed and built a mobile pilot plant for on-site testing — the plant can be hooked up to a commercial coal washery to analyze the company's treatment process and research new concepts without interrupting operations.

Cokemaking Research

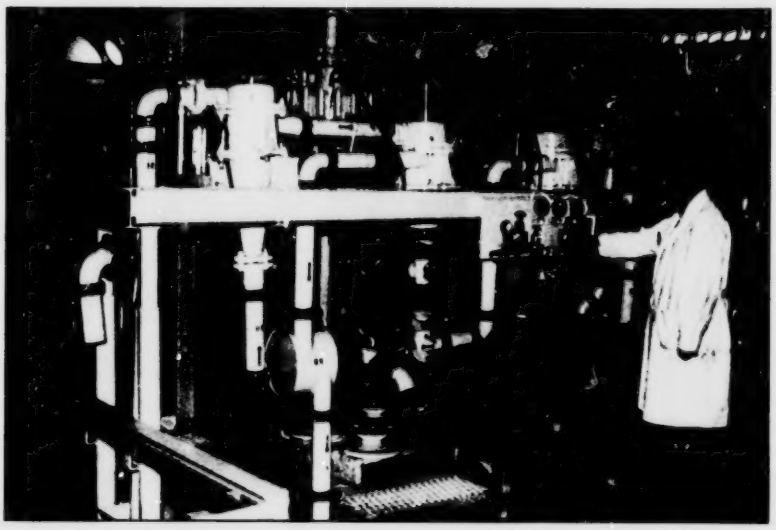
The fuel that feeds the blast furnaces and foundries of the world's steel industries is coke, a product made by heating metallurgical or coking coal in slot-type ovens to drive off the volatile components. The result is a hard, porous solid that is mostly carbon. In the blast furnace, coke not only acts as the heat source but also reacts with iron-ore concentrate at very high temperatures to form molten iron, the basic material in steelmaking.

There is a demand in both the domestic and foreign market for good coking coal, and CANMET is continually probing for ways to produce better coke from Canadian coals. With four specially designed ovens — two in Ottawa and two at the Edmonton laboratory — CANMET has the only facilities available in Canada to fully evaluate coal for coke manufacture, and is one of the few centres on the continent with such an extensive testing capability. Its coal and coking laboratories concentrate on four areas of study: resource evaluation, innovations to

Coke about to be pushed from one of CANMET's special ovens, used to test Canadian coals for their coking properties.



The coal-preparation pilot plant at CANMET's Coal Research Laboratory (CRL), Edmonton.



Several cyclones can be seen in this portion of the coal-cleaning circuit at the Coal Research Laboratory (CRL), Edmonton.

Related work on eastern Canadian coals is conducted in the Mineral Sciences Laboratories in Ottawa, which also provide support in more basic science and in chemical analysis.

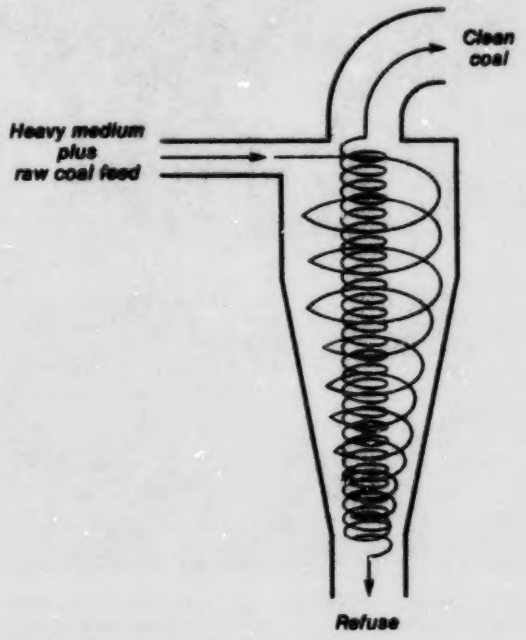
The work on fine coals soon led to the design and construction of a special pilot plant at Edmonton for cleaning coal. Over the years the pilot plant has undergone many additions and design alterations, so that it has the flexibility to analyze the cleaning requirements of various types of coal using a full range of techniques and equipment. Today the plant is semi-automated, and the use of computer models to improve coal-cleaning analysis is progressing well.

Operation of the pilot plant has led to a number of patented systems and designs. The most notable example is the CWC — the compound water cyclone — developed at Edmonton and incorporated into the pilot plant in 1961. CWC cyclones are now in widespread use in Canada and other countries. In particular, the CWC cyclone is being used effectively to clean fine coal that is partially oxidized — a condition that creates problems and leads to losses in froth flotation, the conventional method of separating very fine coal from waste materials. Oxidation of coal occurs in seams that have been exposed to air or oxygenated groundwater — it creates problems at many mines in western Canada.

CANMET's coal preparation research also includes studies on ways to improve the treatment of waste water from coal-cleaning plants. This work is aimed at reducing pollution and recycling water in the coal-cleaning operation. To make their studies more effective, scientists at the Edmonton laboratory have designed and built a mobile pilot plant for on-site testing — the plant can be hooked up to a commercial coal washery to analyze the company's treatment process and research new concepts without interrupting operations.

Coal-cleaning Cyclone
A cyclone is a cylindrical chamber, tapered to some degree from top to bottom, that is incorporated into a coal-cleaning circuit. When a coal slurry is pumped through at appropriate pressure, the coal and waste particles are separated by centrifugal force — the lighter coal rises from a central vortex and passes out the top, while the heavier waste particles spiral downward to pass out at the bottom.

Cyclones were in common use for cleaning medium-fine coal — usually employing a denser medium than water — before the development of CANMET's water-only CWC cyclone. The effectiveness of the CWC in cleaning the finer sizes of coal lies in its unique design of compound tapers.

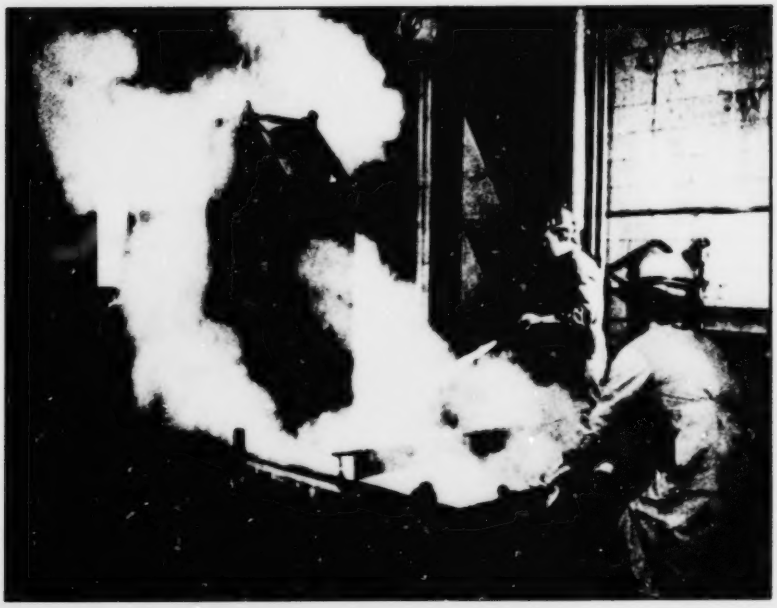


Cokemaking Research

The fuel that feeds the blast furnaces and foundries of the world's steel industries is coke, a product made by heating metallurgical or coking coal in slot-type ovens to drive off the volatile components. The result is a hard, porous solid that is mostly carbon. In the blast furnace, coke not only acts as the heat source but also reacts with iron-ore concentrate at very high temperatures to form molten iron, the basic material in steelmaking.

There is a demand in both the domestic and foreign market for good coking coal, and CANMET is continually probing for ways to produce better coke from Canadian coals. With four specially designed ovens — two in Ottawa and two at the Edmonton laboratory — CANMET has the only facilities available in Canada to fully evaluate coal for coke manufacture, and is one of the few centres on the continent with such an extensive testing capability. Its coal and coking laboratories concentrate on four areas of study: resource evaluation, innovations to

Coke about to be pushed from one of CANMET's special ovens, used to test Canadian coals for their coking properties.



Coal briquettes are examined before they are added to a partially briquetted coke-oven charge.

As soon as it comes from the oven, the coke is water-quenched.

conventional cokemaking, new methods of cokemaking, and iron-ore reducibility. All the information obtained is computerized and stored in an extensive data bank.

Coke strength is a major factor of coke quality as it must be firm enough to support the load in the blast furnance. However, the chief criterion of coke quality is the *coke rate*, which is the amount of coke needed to produce a tonne of iron. As coke is the highest single conversion cost in steelmaking, companies stand to save millions of dollars by reducing the coke rate. The better the quality of the coke, the less that is needed in the blast furnace.

The better coking coals are usually produced by blending a number of different coals with varying characteristics. In addition to testing various blends of coal, CANMET also investigates such techniques as partial briquetting — mixing briquettes with loose coal in the coke oven.

To increase the efficiency of conventional slot-type coke ovens and to improve the coke rate, CANMET has conducted several coking projects in cooperation with Canadian steel and coal companies. Methods such as pre-heating coal before oven charging, selective grinding of blend components, and increasing the density of coke oven charges are examined.

Coal Liquefaction and Gasification

Although coal is used as a fuel mostly through direct combustion, it also can be converted to alternative fuels by liquefaction and gasification processes.

Liquefaction results from the reaction of coal with hydrogen, plus the addition of heat and pressure. Once the liquefaction has been completed, a second-stage process must be used in which the coal-derived liquid is upgraded to produce a high-grade form of gasoline, or other products.

Gasification results from the reaction of coal with steam in the presence of oxygen. After cleaning, the resulting gases can be used by themselves, or employed to synthesize liquid fuels and chemicals. Although coal conversion is usually done with mined coal, coal can also be gasified while it is still in the ground.

During World War II, Germany produced synthetic aviation gasoline from coal by direct liquefaction to feed its war effort. Since the 1950s South Africa, lacking oil resources but with abundant coal reserves, has

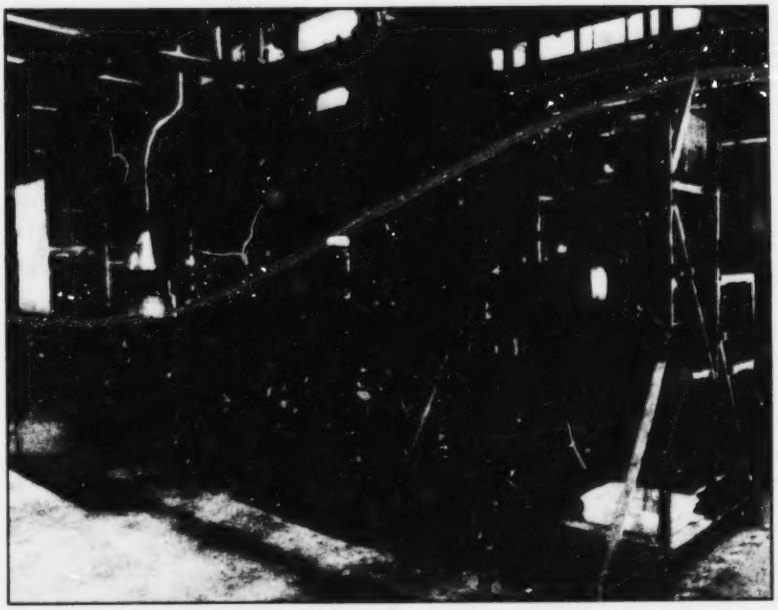
been producing synthetic gasoline and other liquids and gases from coal. The Soviet Union has been gasifying coal since the 1940s, and more recently interest in the technology has been spreading throughout Europe.

Canada, because it has reserves of hydrocarbons — especially natural gas and oil sands — has not given the coal-to-liquid and coal-to-gas processes comparable priority. However, with potential long-term requirements in view, CANMET is sponsoring some coal liquefaction and gasification work. The program is aimed at developing Canadian skills in preparation for possible future commercial introduction. CANMET is funding some projects fully, others it shares with industry. It also has bench-scale facilities at its Bells Corners laboratories examining these technologies. The bench-scale research is also used to study the characteristics of Canadian coals, since coal conversion depends on the properties of the coal available.

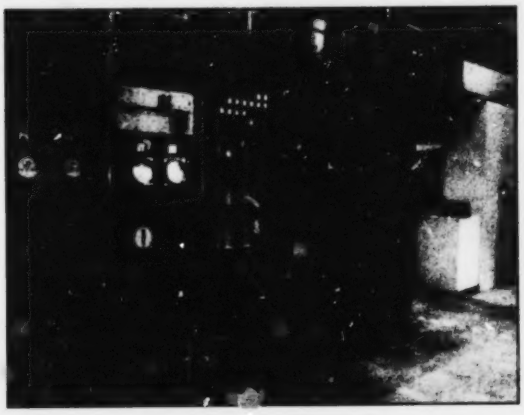
Examples of studies that have been conducted include technological and economic assessments of existing conversion processes, the liquefaction of low-rank coals, and the assessment of coal for electricity generation through advanced techniques.

A high-priority coal liquefaction project involves preliminary research on the development of a 'co-process' that will allow the liquefaction of coal and the upgrading of bitumen or heavy oil to occur simultanously, by processing coal in the presence of a bitumen or heavy-oil carrier solvent.

A number of coal gasification projects are also under way. They include studies of low-rank coals and coal rejects as potential feedstocks for production of fuel gas and synthetic liquids. One CANMET coal gasification project is directed at increasing the efficiency of the conversion of low-quality coal — such as Saskatchewan lignite — to electricity, using a combined cycle coal-to-electricity process. Although it requires a high capital investment,



The continuous-flow coal liquefaction unit at CANMET's Energy Research Laboratories (ERL), Bells Corners.



Control panel, ERL coal liquefaction unit.

the combined cycle produces electric power at economical rates. The process permits the generation of electricity in either a steam or gas turbine or by coupling the two together.

Although basic gasification and liquefaction techniques are well known, the major current research objective is the improvement of technology to produce the greatest amount of gaseous or liquid energy from a given amount of coal — and at an acceptable cost.

Conventional Coal Combustion

Canadian utilities and industry are rapidly converting from premium liquid fuels to indigenous, often low-grade coals in response to Canadian government initiatives to achieve oil independence and energy security. In addition, Canadian coal companies are vigorously attempting to secure a reasonable share of the market, often with newly developed thermal coals of unknown quality and performance. These activities have resulted in a collaborative government/industry combustion research program as part of CANMET's energy technology activity.

The objectives of this program are:

1 To develop new or improved techniques for efficiently utilizing pulverized coal and renewable fuels as a substitute for oil in industrial processes.
2 To define and optimize the combustion performance of low-grade coals from new mines or waste materials in pulverized-fired combustion systems.
3 To promote the development, and where feasible, the implementation of coal-liquid mixtures (CLM) as a substitute fuel for oil in existing oil-fired equipment and as an alternative to direct coal firing in other combustion equipment.
4 To conserve and improve the use of fuel oil through operational and design modifications to industrial combustion systems.
5 To keep abreast of domestic and foreign combustion R&D and, where appropriate, to participate in joint R&D projects relevant to Canadian needs.
6 To minimize the environmental effects of the increased use of coal in industrial and utility combustion systems.

Fluidized-bed Combustion

Fluidized-bed combustion (FBC) is another coal combustion technology that has been attracting worldwide attention. This method permits more efficient burning of low-grade fuels — including high-sulphur coal, such as that mined in eastern Canada — while minimizing pollution.

In the fluidized-bed combustor, there is a combustion chamber into which air is forced up from below a bed of coal, ash, sand and limestone. The mixture swirls and seethes in a fluid-like manner as the coal burns, and the limestone absorbs the sulphur, thus reducing pollution.

CANMET is a key participant in a number of industrial projects related to FBC. These include a demonstration of atmospheric fluidized-bed combustion at the Canadian Forces Base heating plant at Summerside, P.E.I., and a fluidized-bed pilot plant at Point Tupper, N.S. At the same time, supporting research on sulphur neutralization and combustion dynamics, as well as the development of heat-resistant steels, is carried out at CANMET's Ottawa laboratories and a Canadian university.

Pilot-scale fluidized-bed combustor at CANMET's Combustion and Carbonization Research Laboratory. The swirling action of the bed can be seen through the combustor's observation port.

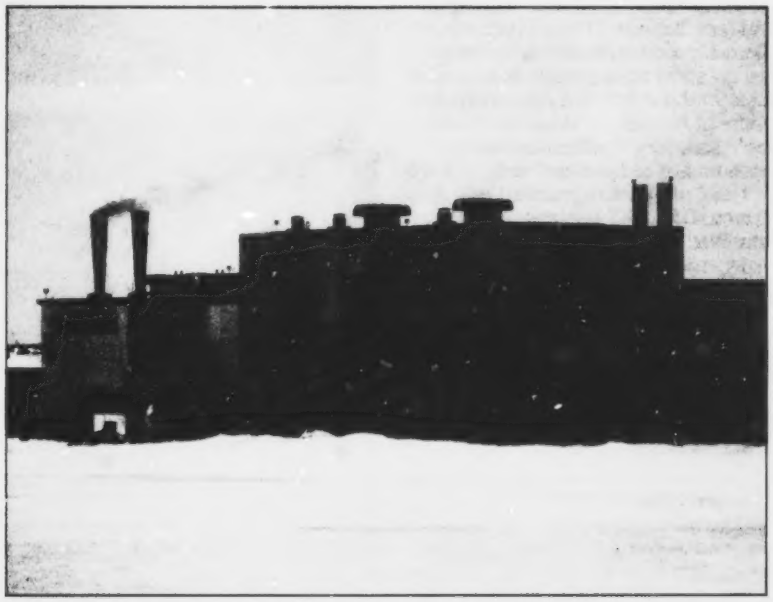
Coal Transportation

Energy must be transported to markets. Electric power is moved to the customer efficiently through transmission lines, and oil and natural gas are transported great distances by pipelines. However, transportation of coal by traditional means — by rail or road — poses special problems.

The transmission of coal as a slurry in pipelines is therefore attracting considerable attention. A slurry is simply a mixture of an insoluble solid in a liquid. CANMET has studied the transmission of coal in slurries of coal-in-water, coal-in-oil, and coal-in-methane. Because the properties of coal are vital to its end use, studies are under way to determine the effects of pipeline transportation on coal properties. CANMET is also looking into the problems of preparing the slurry before transportation, and separating it at the end of the pipeline. As well, CANMET metallurgists are working to solve another problem inherent in slurry transportation — the abrasive and corrosive effects of slurry material on pipeline steel.

Peat as Fuel

Peat, 'the mother of coal', has been used as a fuel for hundreds of years in many parts of the world. Although Canada has vast deposits of peat — up to 30 per cent of the world's total supply — this resource has been little used because cheaper sources of



The new heating plant at Canadian Forces Base Summerside, P.E.I. — first FBC demonstration project of its kind in Canada.

fuel have been readily available. But in recent years, with dwindling oil reserves, Canadian interest in peat has grown.

Through contracts with private industry, CANMET is conducting a number of studies on peat. One, on the technical and economic feasibility of a peat-fired power station for New Brunswick, has shown promising results and stimulated substantial local interest. A subsequent study has been commissioned to examine the problem of dewatering peat — long a major roadblock to widespread use of this resource.

Petroleum

Most of CANMET's petroleum research is aimed at tapping the vast oil sands and heavy-oil resources of western Canada. These deposits of bitumen and heavy oils are among the greatest concentrations of fossil fuels in the world, but upgrading this material to make it acceptable as feedstock for oil refineries has posed many problems.

Now, after many years of research, CANMET has developed an improved upgrading process that is expected to reach the point of commercial application by 1985.

Peat harvesting.

CANMET Hydrocracking Process

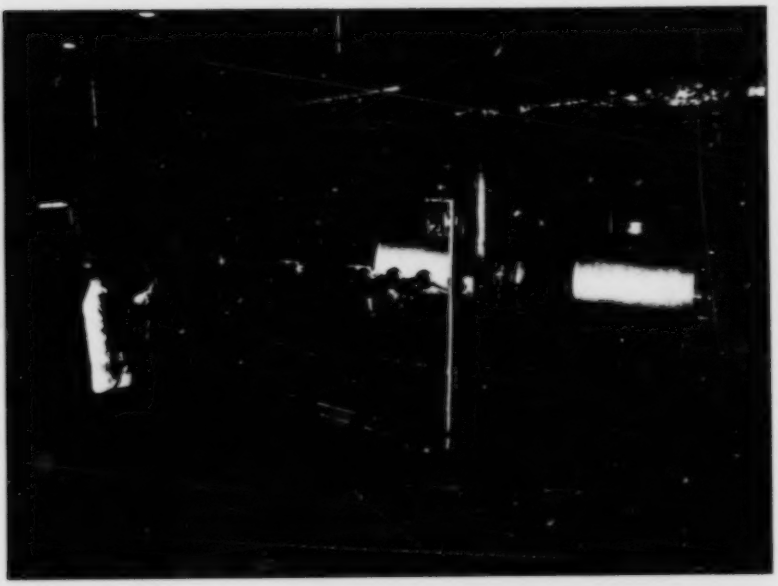
Typical bitumen or heavy oil contains about 50 per cent pitch, as well as many materials such as sulphur, nitrogen, nickel and vanadium that would cause serious operational difficulties in a conventional refinery. It is therefore necessary to reduce the pitch, sulphur and metals content in order to meet refinery requirements.

Existing commercial operations use 'carbon rejection' methods such as delayed coking and fluid coking to upgrade the bitumen. This results in large quantities of waste byproduct coke, which is being stockpiled. The patented CANMET process, on the other hand, uses a 'hydrogen addition' method that produces 10 to 12 per cent more distillate oil and eliminates the waste coke.

In the CANMET process, the feedstock is mixed with a low-cost disposable catalyst and hydrogen under pressure and the mixture pumped up a long tubular reactor where hydrocracking takes place at high temperatures. The high-boiling pitch fraction is converted to lighter distillate oil fractions that can be easily processed to produce 'synthetic crude'.

Following an independent study which showed that the operating costs of the CANMET process compare favourably with existing commercial techniques, PEX — Petro-Canada Exploration Inc. — obtained the rights to the process. Under its agreement with EMR, PEX is responsible for the development of a plant to demonstrate the process, the design of a full-scale commercial plant, and the development of a complete marketing and licensing package for installation of the process throughout the petroleum industry. A 795 m^3/day demonstration unit is now being constructed in Montreal, with completion scheduled for 1985.

The CANMET process involves the use of an inexpensive additive; researchers are continuing to look for still more efficient and less costly catalysts. There are also hopes that the process can be adapted to yield new liquid fuels from coal and even from biomass.



A probe is used to measure heat radiation in the tunnel furnace at CCRL. The furnace is used to develop combustion methods that will produce a minimum of pollutants.

A technician monitors the control panel of CANMET's hydrocracking pilot plant.

The hydrocracking plant's feed system.

Combustion Research

Much of EMR's research in energy is directed at fuel conservation and more efficient use of fuels. Most of this work is conducted by CANMET's Combustion and Carbonization Research Laboratory (CCRL) at Bells Corners, either through in-house research or by contract to private industry.

Home Heating

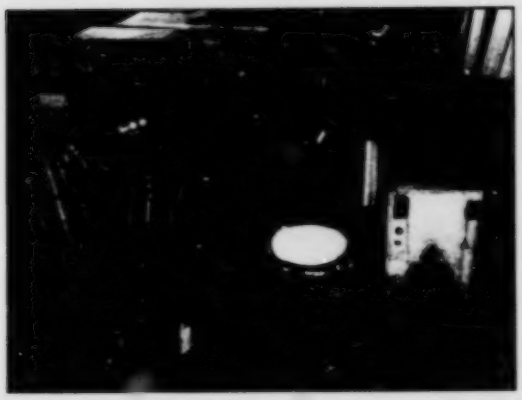
With Canadian oil reserves shrinking and the price of oil escalating, CCRL scientists have developed a retrofit kit that provides greater efficiencies for oil heating equipment. The retrofit procedure can be applied to existing oil-fueled home furnaces, and consists of:

- installing the smallest nozzle that is compatible with the furnace
- replacing the ordinary burner head with a flame retention head
- installing a delayed action solenoid valve to reduce soot accumulation.

CCRL's combustion research does not confine itself to the laboratory — it takes work into the field for practical testing. Test equipment was installed in a number of Ottawa homes and fitted with monitoring instruments, and the results observed in winter conditions. Combinations of retrofit kits, improved insulation and nighttime thermostat reduction were tested in the selected homes, and confirmed the laboratory results. Scientists now recommend these measures to reduce home fuel consumption by more than 20 per cent while at the same time reducing undesirable emissions.

Conventional gas-fired heating systems also operate at low efficiencies. CANMET is therefore conducting a major research program in domestic gas furnaces to help develop

some of the more promising of the new technologies and to determine their performance, both in the laboratory under controlled conditions and in the field in well-instrumented test homes, under real-life conditions.



This residential oil furnace was installed in CANMET's Energy Research Laboratories and equipped with continuous gas analyzers to measure efficiency, emissions and fuel quality.

Research on furnace efficiency was also conducted on-site in several Ottawa-area homes.

These studies are also geared to the development of a test procedure to measure the seasonal efficiency of gas furnaces for use in energy labelling.

Because of the large number of homes that have been recently equipped with conventional gas furnaces, CCRL is developing equipment that could be used to upgrade these furnaces to the very high efficiency levels potentially available. One major furnace manufacturer has produced, under contract, a retrofit condensing fuel system; field trials on the unit are now being carried out. A retrofit induced draft system is also being developed to offer major fuel savings at relatively low cost.

Other contracts to develop new concepts for attaining high efficiency economically are now under way, with very promising results. A plastic counterflow heat exchanger has been coupled with a conventional furnace to yield a condensing furnace with efficiencies in the 95-per-cent range.

In all these areas, practicality is a prime consideration. Efforts are continually being made to ensure that industry is aware of all developments so that time into the marketplace is minimized. The technologies under consideration will benefit both new and existing furnaces, and should show fuel savings from 15 to 40 per cent, depending on the technology.

Because of the growing public interest in wood-burning appliances, coupled with a lack of standards for appliance design, manufacture and installation, CANMET is developing a joint efficiency/emissions standard to measure performance. This will enable manufacturers and standards organizations to develop more efficient and safer wood stoves. CANMET is also developing advanced combustion designs that offer cleaner, more efficient operation.

Automobile Engine Performance

CANMET contract studies on automobile fuel economy under Canadian conditions revealed that the performance of four advanced-technology engines degraded less as the temperature dropped, in terms of fuel economy and emissions, than did the performance of a conventional engine equipped with a catalytic converter. The results indicated:

- Fuel economy degrades as atmospheric temperatures decrease. This is one reason Canadian motorists have found their fuel tanks need more frequent replenishing during the winter, and their fuel economy is often less than reported.
- Diesel, stratified charge, lean-burn, and the turbo-charged, knock-limited engines show significantly less degradation in fuel economy and emissions than do the conventionally carbureted, catalyst-equipped engines. Over the range of temperatures tested, the high-speed diesel performed better than the others.

CANMET is also carrying out a joint program with industry to determine the octane requirement for Canadian cars, to prevent wasteful refinery energy and crude-oil use through the production of unnecessarily high octane ratings.

Nuclear and Electrical Energy

Uranium is regarded by many experts as the fuel of the future. Canada is second to the United States in world uranium production and fourth — behind Australia, South Africa and the United States — in reserves and resources. In 1981 Canadian uranium production stood at about 7800 tones. Estimates for the future suggest that domestic production could rise to a possible 15 500 tonnes in 1990.

Uranium Policy and URAG

In 1974, the Minister of Energy, Mines and Resources announced a new uranium policy that would ensure nuclear fuel reserves for all existing and committed reactors in Canada for the next 30 years. A further objective of the policy is to ensure that sufficient uranium production capacity is available for Canada's domestic nuclear power program to reach its full potential.

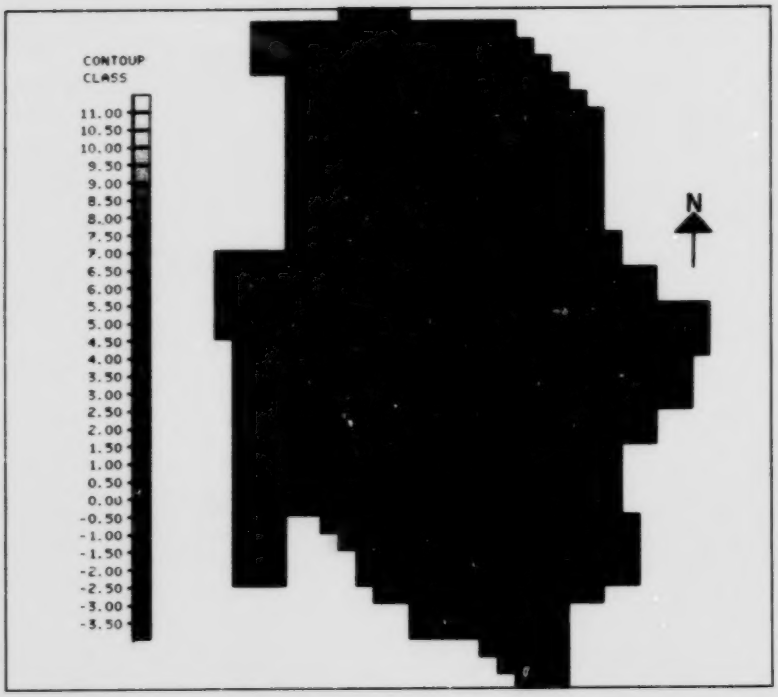
To implement the policy, a committee called the Uranium Resource Appraisal Group (URAG) was established within EMR to make annual audits of Canada's uranium resources. CANMET has several persons in URAG working on uranium reserve and resource evaluation, as well as the evaluation of production capacities of existing and potential uranium producers.

To help establish the uranium reserve base, mining companies are asked to declare their annual reserves. Visits are made to the companies' operations and offices by committee representatives to acquire information and evaluate the submissions. All the known uranium requirements for Canadian nuclear power for the next 30 years are estimated. Then the total percentage of required uranium is applied to each company's deposit, to be maintained as their quota for domestic consumption. These figures are the basis for approval of uranium exports.

Mining companies are also required to submit all preliminary drilling information and maps, which are then coded and stored on computer. The computer data form the basis for URAG's independent calculation of reserves and resources for each relevant deposit.

The committee also reviews new deposits to determine if they are economically viable before they are added to the national reserve figures. Estimates are made of the nation's future production capability from all the information collected on existing mines and identified additional reserves.

Testing automobile engine performance for fuel efficiency and emissions.



A valuable modern aid in mineral resource assessment, this computer-generated map shows the various grades in a mineral deposit much as the contour lines on a topographical map show surface elevations.

In the final stage of uranium ore concentration, the yellowcake is dried on a drum filter.

Uranium Extraction

The skills that CANMET scientists have attained in processing ores and minerals are also directed at the improvement of uranium extraction. The object of these investigations is to recover the greatest possible amount of uranium, as well as by-products such as thorium, rare earths and yttrium, from the mined ores while minimizing processing costs and environmental impact.

Typically, uranium ores contain only one or two kilograms of uranium per tonne, although recent discoveries in Saskatchewan are much richer. Nevertheless, the technique of uranium recovery is similar. The ore is first crushed and ground to a fine consistency. It is then leached in strong sulphuric acid to dissolve the uranium. The uranium-bearing solution is purified and a chemical precipitate called 'yellowcake', containing about 70 per cent uranium, is formed. The yellowcake is shipped to a uranium refinery such as Eldorado Nuclear Limited for the production of fuel-grade uranium products.

Through extensive laboratory studies at both the bench scale and in specially designed continuous mini-plants, CANMET scientists have examined a large number of Canadian uranium ores. This research involves the determination of the unique chemical and mineralogical characteristics of the ores, and the development of new and improved technologies for uranium recovery.

The utilization of bacteria to enhance uranium extraction has been applied industrially, and the use of a variety of other leaching techniques such as nitrate and chloride media, elevated pressure and oxidizing chemicals has been investigated.

Work on the understanding, improvement and application of unit operations in uranium extraction — including mineral-dressing operations, filtration, solvent-extraction/ion-exchange, precipitation and tailings treatment — also constitutes a major effort at CANMET.

Nuclear Waste Disposal

The introduction of nuclear reactors to generate electric power has created the problem of disposal of spent reactor material, which can have a radioactive half-life of thousands of years. CANMET, together with two other EMR organizations — the Geological Survey of Canada and the Earth Physics Branch — is working with Atomic Energy of Canada Limited in what is known as the 'fuel cycle waste management program'.

Under study is the proposed entombment of the spent fuel in deep, seismically stable, dry and impermeable rock chambers in the Canadian Shield. CANMET's role is to rank the potential repository sites on the basis of the mechanical and thermal properties of the rocks, and to assist in the design of the repository by conducting in situ heat simulation tests. The spent fuel continues to generate heat after disposal and the in situ tests are required to study the effects of the heat on the host rock in the disposal chamber.

A disposal site of this type might resemble a mine having vertical shafts drilled to a working level as deep as 1000 metres. On the horizontal plane a central artery could be excavated, from which a row of tunnels would be extended. Vaults might be drilled in the tunnel floors into which well-insulated, spent fuel rods could be placed. When the rooms are filled, the entire mine could be backfilled and sealed to become part of Earth's upper crust.

Electrical Ceramics

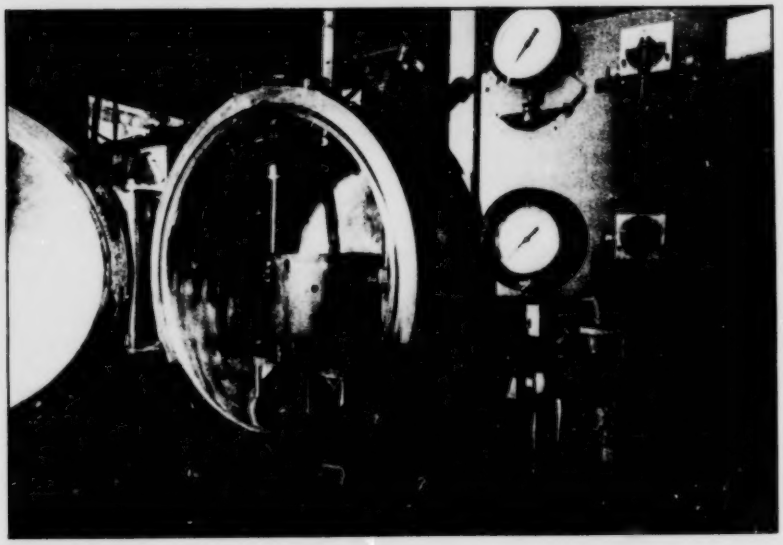
As oil supplies become less certain and more expensive, exploration into alternative energy systems has intensified. Electrically powered vehicles are in operation in industrial plants and mines, but their limited operating range generally makes them unacceptable as road vehicles.

CANMET is examining, both in-house and through contracts, the development of electrical ceramics known as solid-state electrolytes, super ionics or ionic conductors. There are nearly 40 known ionically conducting materials, the most familiar being zirconium dioxide, which has been used for years in high-temperature electric furnaces. Electric ceramics represents a field of study with a great many applications, although considerable R&D is required before this relatively new class of materials for fuel and storage cells comes to fruition — an era that is expected to appear sometime after 1990.

CANMET research has been directed at zirconias, hollandites and aluminum oxide with sodium. The final hurdle will be the development of an acceptable life-cycle cost for a vehicle battery.

Besides their future in transportation, the super ionics will have applications ranging all the way from small instruments and sensors to major power grids. One application in generating electric power will be the magneto-hydrodynamic generator (MHD). An important material used in the MHD generator as a high-temperature electrode is zirconium dioxide. A feature of this type of generator is its high efficiency compared to the conventional thermal electric generating station. A Canadian program, being conducted by a private company, is using hydrogen and oxygen generated by the electrolysis of water from surplus power of base-load generators. This procedure if used with CANDU reactors would permit the storing of surplus power for use on demand.

The development of a number of ionic conductors, and the later development of solid solution electrodes, will open the path for new generations of power sources and storage, including fuel cells and the first solid-state batteries.



In their research on fuel cells, CANMET scientists use this hot press to form ceramic test pieces.

In minerals technology, CANMET's work falls into three categories — mining, processing and utilization. This reflects the fact that the research program is relevant to the full range of mineral resource activity in Canada, starting with research down in the mine and going all the way through ore processing to research on the fabrication of finished metallic and other mineral-based products.

The minerals research program also includes studies in resource determination, to ensure adequate knowledge and proper utilization of the country's minerals. In another area of responsibility, CANMET — under the *Canada Explosives Act* and in the interests of public safety — tests all explosive materials manufactured in Canada or brought into the country.

Mineral Resource Determination

CANMET scientists carry out mineralogical, geochemical and associated studies to identify and assess the extent, quality, and potential for economic recovery of Canada's mineral resources. In addition, test ore samples from new or undeveloped deposits are submitted for trial processing in the CANMET laboratories. These examinations are conducted to assemble a base of information on domestic mineral resources for research purposes, for resource development, and for the formulation of sound policies and programs. The minerals under current study include complex sulphide ores, the platinum-group minerals, and other precious or rare metals.

There are massive deposits of sulphide ores in New Brunswick, Ontario and the Yukon. Thirty-one sites in New Brunswick have been examined and classified for sources of base metals. Studies on the behaviour of minerals during flotation and grinding are carried out, and possible metal recoveries interpreted. Mineralogical studies on the Caribou deposit in New Brunswick have been completed; this will facilitate rational planning for development of this resource.

The platinum-group metals are used as catalysts in the chemical industries. A total of 15 platinum-group minerals have been found in association with other minerals in the Sudbury Basin, where only three were previously known. The major platinum-group metals are platinum, palladium, rhodium, ruthenium, iridium and osmium.

Mining Technology

Surface Mining

More than half the mines in Canada are surface or open-pit mines, producing almost all of the country's iron ore and asbestos, as well as substantial amounts of the coal, lead, zinc and copper ore extracted from the earth.

In cooperation with the mining industry, other federal agencies, consulting engineers and universities, CANMET carried out a five-year project to improve the design of open-pit mines under Canadian conditions, and documented it in the form of a 10-volume handbook called *The Pit Slope Manual*, also available in audio-visual form.

The manual is revised and brought up to date as circumstances require. Topics include: mechanical properties of rocks and soils, groundwater problems, pit design, perimeter blasting, instrument monitoring, waste embankments, and environmental planning, which includes reclamation of worked-out areas.

The angle of pit slopes is a major design consideration in surface mining because it determines the amount of waste rock to be moved along with the ore. This has a direct

Diesel-electric haulers remove coal from this open-pit mine in Alberta.

effect on mine economics. As an example — for a large, deep open pit, steepening the slope angle by only one degree can reduce the amount of waste rock excavated over the life of the mine by about 20 million tonnes, and result in cost savings of as much as $10 million.

Underground Mining

Underground mining is extensively undertaken to recover such base metals as nickel, copper, zinc and lead, as well as potash, coal, uranium, gold and silver. For years CANMET has studied special problems in underground mining including ground control and mine safety. These activities are continuing; research is concerned, for example, with problems occurring when an open-pit mine is converted to an underground mine, and with mining methods using backfill.

CANMET research also includes the development of new methods to detect fractures in mine roofs — roof collapse is one of the great hazards in mining — as well as studies on the overall regional stress conditions that affect mine stability, particularly where the workings of several different companies must be considered.

An important current aspect of CANMET's mining research program relates to new methods being developed for mining deep hard-rock orebodies. These methods potentially offer many advantages over conventional mining techniques. For example, the method known as large blasthole open stoping has an inherently greater safety factor because

Workers install a rock-bolt load cell in an underground mine. This device monitors stress in the bolts that support the mine roof.

miners are less exposed to disturbed ground. However, such methods will not be widely applied until the mining layout and sequence can be reliably designed in advance, rather than developed through trial and error, as at present.

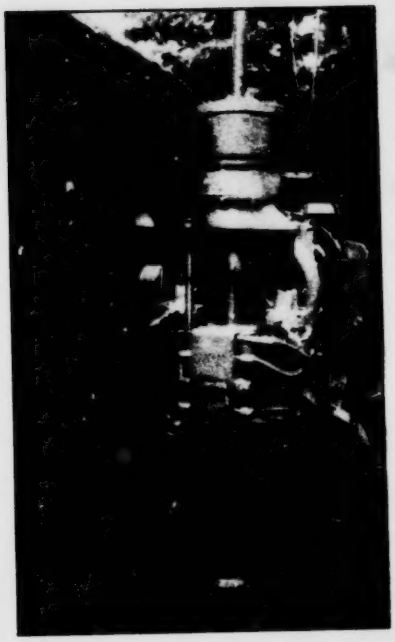
CANMET is developing a series of design guidelines for deep hard-rock mines. To be published as a series of reports, these guidelines will cover evaluation of geology and ground conditions, mine stability and support analyses, mining sequence and ground control interaction, and blasting control to maintain wall, roof and pillar integrity.

Diamond Drilling

CANMET is supporting diamond drill research particularly through in-house and contracted studies to reduce noise pollution at the drilling site.

Most current legislation in Canada limits the permissible noise level to 90 dBA (decibel rating) over an eight-hour shift. CANMET-supported research has established the major sources of noise and determined the levels. Measured dBA levels are in the order of 103 to 105 dBA at surface mine sites, and even higher underground. In the case of surface drills the main contributor is the diesel engine, and CANMET is working on an in-house project to design, build and test a noise enclosure for diesel engines.

In close cooperation with the Canadian Diamond Drilling Association, CANMET is also investigating, through contracted research, the possibility of obtaining meaningful and economical noise reduction by means of relatively minor changes to established drill designs.



On-site noise-suppression research for drilling operations.

Mineral Processing

The main thrust of CANMET's work in mineral processing is to research, develop and promote technology to increase the recovery of marketable minerals from Canadian ores, and to upgrade minerals to higher value. This is accomplished by generating new and improved processing techniques and equipment with minimal adverse impact on public health and safety or the environment.

In CANMET's Mineral Sciences Laboratories (MSL), all aspects of mineral processing come under examination, including the characteristics of mineral content in the ore, the preparation of standard reference ores, the concentration of minerals by flotation and gravity separation, and the extraction of economic metals from concentrates.

Sulphide Ores

CANMET carries out extensive investigations into the physical and chemical properties of minerals. Greater knowledge about a mineral and its host rock permits more effective mineral recovery and processing. In CANMET laboratories, techniques for analyzing ores and minerals are constantly being modified and new methods developed for application in private industry.

The processing of base-metal sulphide ores is an example. CANMET scientists are developing methods to obtain a greater yield of minerals from the difficult fine-grained zinc-lead-copper sulphide orebodies found in New Brunswick, Ontario and the Yukon. Mills processing these ores are now recovering about 65 per cent of the metal values. CANMET research is aimed at increasing the recovery of the mineral value to more than 85 per cent and at the same time minimizing the environmental impact of processing.

The treatment process that is used to recover mineral values depends greatly on the specific characteristics of the ore being mined. CANMET mineralogists and analytical chemists obtain an understanding of the composition and structure of ores through careful microscopic and instrumental studies. The mineral-dressing scientists and engineers combine this information with their own experience to assess the potentially most effective treatment methods for the ore.

The ore is first tested on the bench scale to change or confirm the initial hypothesis of the mineral-dressing specialist and to select the best processing conditions. Once all elements of treatment have been tested, they are combined into a small continuous operation conducted at CANMET in the Continuous Process Development Unit (CPDU).

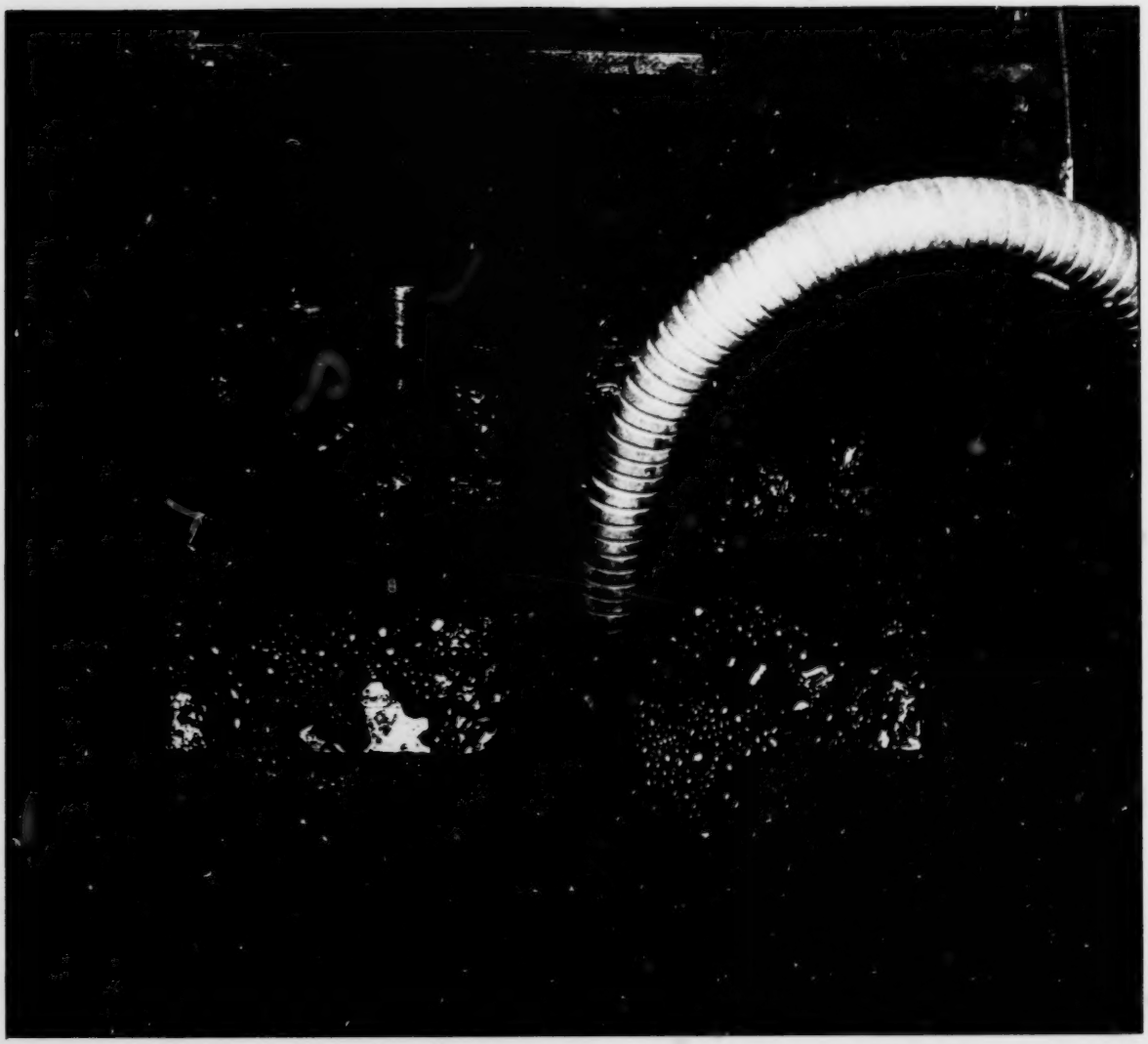
The CPDU is a very small version of a production plant. The ore is crushed and ground as a slurry with water. The slurry is pumped to flotation cells, where air bubbles carry the mineral particles to the surface to form a froth that is collected as the product — a concentrate containing the valuable metals. The material that does not float is normally discarded as waste, called tailings.

The CANMET CPDU is capable of close control with the use of precise metering and pumping systems. In addition, the product and wastes are monitored continuously by an on-line analyzer. This sophisticated instrument uses X rays to excite elements in the ore, causing them to emit characteristic radiation which is decoded by a computer to give a direct readout of the percentage of metals contained.

In cooperation with industry, CANMET is examining a number of alternative ways of extracting metals from the mineral concentrates. Two processes that could be available in the short-term future are being investigated by private companies and the New Brunswick Research and Productivity Council under programs partially funded by the Government of Canada, with CANMET monitoring the work as the scientific authority.

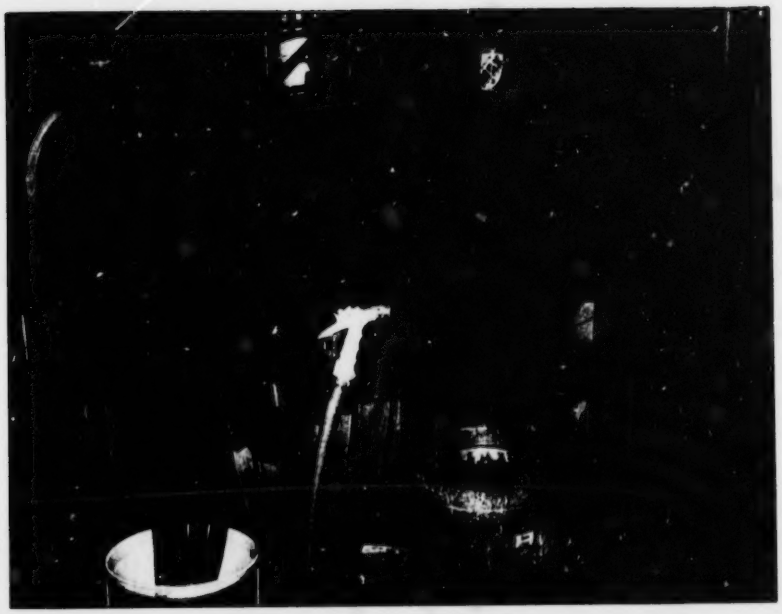
Within the CANMET laboratories, scientists are investigating extractive processes that may be applicable in the longer term and be more effective in byproduct recovery and environmental protection. These studies include work at both the bench and mini-plant scale.

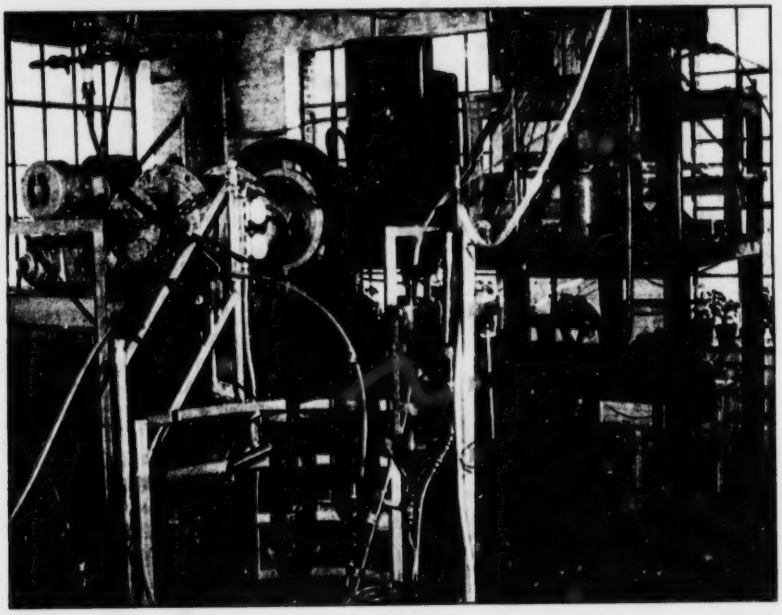
Results of CANMET's studies on ore processing are published nationally and internationally, and a number of patents have arisen from this work.



a

Three components of CANMET's Continuous Process Development Unit (CPDU) used for research on ore processing — (a) flotation cell; (b) shaking table; (c) grinding circuit.





Iron Ore

CANMET conducts research and development in iron ore processing to help improve Canada's position in the highly competitive international iron ore market. In concert with industry, problem areas relating to the effects of variability of ore grade on recovery, unit operations in processing, pellet quality, energy consumption and environmental impact are studied.

Problems caused by zinc and alkali metals in the blast furnace, and the development of improved blast furnace fuels, are subject to continuing examination and research. Also, industry initiatives in treating steelmaking wastes are being supported under contract by CANMET.

Alumina

The production of aluminum requires very large amounts of electricity. Because of ample water resources that provide economical hydroelectric power, Canada has become a major world producer of aluminum. However, bauxite — the ore from which alumina, the raw material for refining aluminum, is obtained — is entirely imported; it is not found in Canada.

As a hedge against possible future instability of supply due to unreasonable prices or political embargoes, CANMET and the U.S. Bureau of Mines have cooperated in a program to investigate methods of producing alumina from domestic non-bauxite sources. Under intensive study for alumina extraction are the reject material from some coal mine washeries, fly ash from coal-fired furnaces, anorthosite, nepheline syenite and clays.

A study of southern Saskatchewan and northern Ontario clays has been completed where, using an acid process, alumina yields have been recorded.

The examination of acid leaching of alumina from anorthosite — of which Canada has large deposits in Ontario and Quebec — has also been completed. During the anorthosite investigation the alumina yield was increased satisfactorily.

CANMET has also been successful in extracting alumina from ash from a fluidized-bed combustion unit burning coal rejects from a potential coal mine at Hat Creek, British Columbia. With a new CANMET process called modified lime sintering, much greater extractions of alumina can be realized.

Mineral Insulation

Thermal insulation for building construction is an important product in Canada with its climatic extremes, but most of the mineral insulation used in this country is expensive and imported. To improve this situation, CANMET is examining domestic raw materials for insulation that would be less costly, less energy intensive, and more environmentally acceptable.

Preparation of Certified Reference Materials

The mineral producing and processing industries need criteria by which production can be gauged for quality control. CANMET staff, through the Canadian Certified Reference Materials Project (CCRMP), take part in national and international development of reference materials and analytical procedures to maintain quality, consistency, and safety margins in the products of mineral industries.

Each year, CCRMP prepares and certifies several samples of ores, concentrates, metals and related materials for use by industry as compositional reference materials. CANMET staff are also active on committees of the Canadian Standards Association and the International Organization for Standardization.

Mineral Utilization

CANMET's third major area of activity in minerals research is the improved utilization of materials, chiefly metals, that are derived from minerals. Principal objectives are to improve the physical properties, expand the applications and increase the serviceability of metals and other materials, and to help the Canadian metal-processing industry remain competitive by developing and introducing new processing and fabricating technologies.

In general, research efforts are concentrated on problems that are industry-wide and beyond the scope or capabilities of individual companies. The work is carried out in close consultation with other government departments, with the National Advisory Committee for Mining and Metallurgical Research, and with industry organizations such as the Canadian Steel Industries Research Association and the Canadian Foundry Association.

Current emphasis is on controlling the composition, heat treatment and mechanical processing of lean alloy steels to improve their strength, toughness, weldability and corrosion resistance; establishing new techniques for welding thick steel sections; failure control in engineering structures; transfer of CANMET technology to the Canadian steel and foundry industries; development of concretes and ceramics for special applications. Research on metals is conducted by the Physical Metallurgy Research Laboratories (PMRL), while work on improving concrete is carried out by the Mineral Sciences Laboratories (MSL).

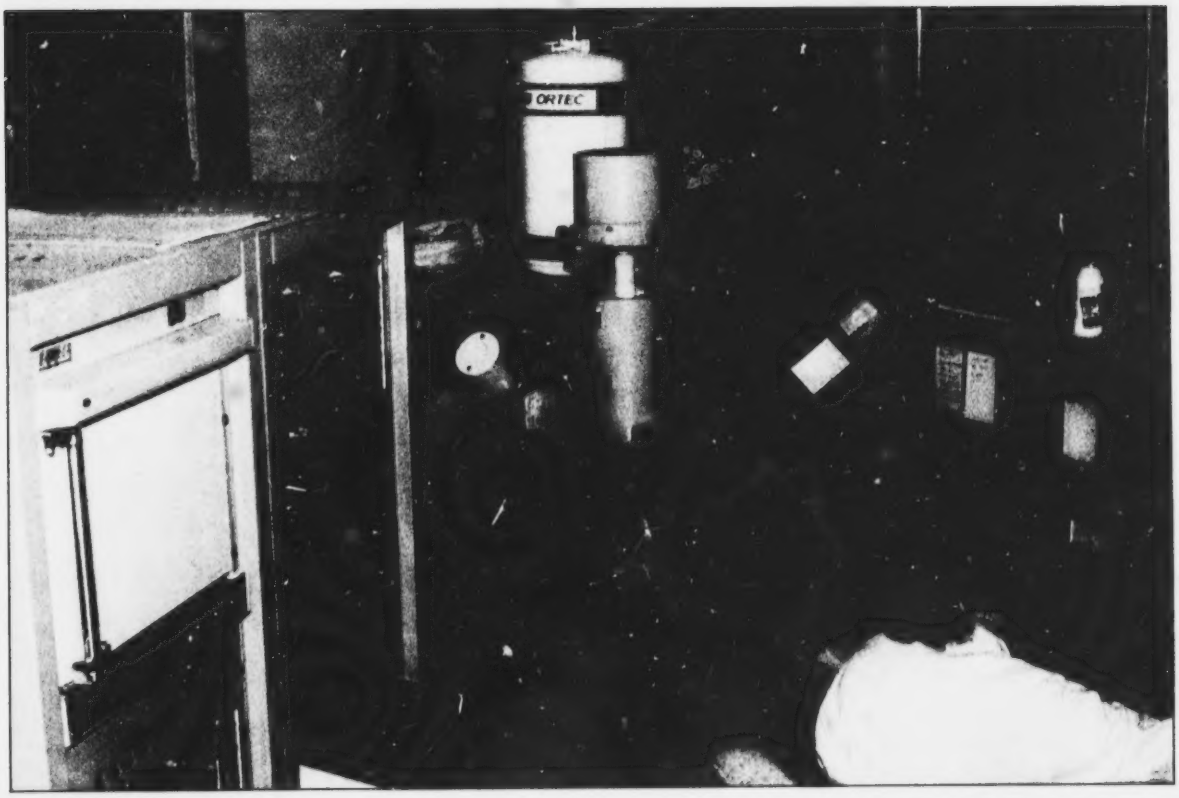
Corrosion and Abrasion Research

The cost to the economy of metal corrosion is hard to measure, but is known to be very large — several billion dollars a year, according to one recent estimate. CANMET scientists believe that more than one billion dollars of this loss could be readily avoided if currently available anti-corrosion technology were properly applied.

CANMET is currently documenting metal corrosion in certain environments in order to identify and recommend more resistant alloy compositions for service under these harmful conditions. This work includes studies on corrosion caused by seawater — a problem of growing importance in view of substantial impending offshore oil and gas development.

Also under study is the corrosion of metals in soil, particularly corrosion failure in municipal water systems which, according to a recent CANMET study, is reaching alarming proportions in Canada. Another study is aimed at reducing corrosion of steel reinforcement in concrete structures, such as bridges, that are exposed to road salt.

The replacement of equipment worn out by excessive abrasion is another area of major cost, especially in the mining and mineral-processing industries. CANMET has conducted extensive research to combat this problem; this work has included research on techniques to produce equipment components with a hard surface on a less expensive base material, plate steels that are more resistant to abrasion, and abrasion-resistant ceramics for use in material-handling systems. These developments are now being transferred to industry for field testing to determine their cost-effectiveness.



This electron microprobe is used to detect minute amounts of elements and impurities in metals and alloys.

Better Steels and Metal-forming Techniques

Steel has a complex microstructure; its toughness-strength relationship depends, among other things, on the amount of carbon, manganese and alloying additions, as well as on the impurities present and the manufacturing process. Much of CANMET's metallurgical work is aimed at controlling microstructure to produce steels with particular properties for specific uses. Current emphasis is on development of harder steel rail for Canadian railways, improved steel for pipelines, and special steels for new and more demanding marine and automotive applications.

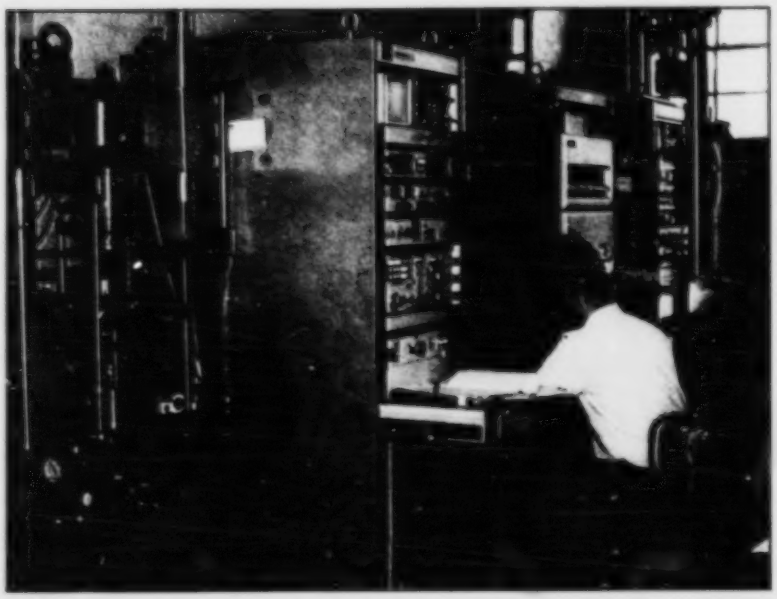
The increasing use of heavy unit trains for moving bulk commodities in Canada — minerals, coal, grain, etc. — has resulted in excessive rail wear, especially on tight curves. The maintenance and replacement costs involved have a direct impact on the economy. CANMET is therefore working to develop a heat-treated rail steel that will be harder and more resistant to wear than rail currently in service.

Canada and the United States have substantial reserves of natural gas in the far north. CANMET scientists are working to ensure that when the time comes to move this gas to southern markets, steels able to cope with the rigors of arctic conditions will be available for pipeline construction. Extremely low temperatures can make steel brittle, so pipeline steel used in northern areas, far from service and supply, must be more durable than pipe used farther south. Improvements must include better weldability, strength and low-temperature toughness to avoid cracking.

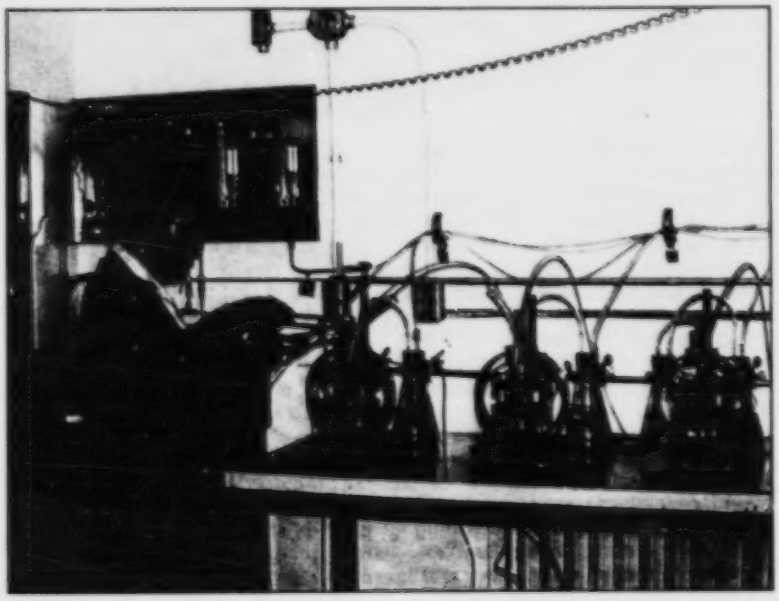
CANMET's work on pipeline steel is concentrated on a relatively new family of steels — high-strength, low-alloy (HSLA) steels — that will undoubtedly be used in any northern pipeline to be built. Scientists are subjecting commercial samples of these steels to a wide range of tests, and at the same time working to develop still newer and more improved steels.

Another major concern is the selection of steels, fabricating techniques and inspection methods for large drilling platforms off Canada's coasts. These structures could be subject to even more extreme temperatures and heavier seas than are experienced in the North Sea. CANMET is undertaking research on steels for offshore structures with low residual element content that offer promise of exceptional toughness, on problems of corrosion and corrosion fatigue, on techniques for welding very thick steel sheet required for these immense structures, and on nondestructive techniques for detecting defects above and below water.

The approaching development of northern and offshore oil and gas resources — which will greatly increase the volume of shipping in Canada's arctic and eastern waters — is also directing the attention of CANMET metallurgists towards the development of better marine materials. To help ensure the safe and efficient movement of vessels under difficult and sometimes hazardous conditions, CANMET is working to develop superior steel for



Measuring mechanical properties of linepipe steels using a computerized materials-testing system.



Stress corrosion testing of linepipe steel.

ships' hulls, steel that will better withstand ice impact at extreme temperatures and also be more resistant to corrosion.

CANMET has also undertaken projects to develop new alloys and fabricating techniques to produce ships' propellers and other marine equipment that will be less subject to failure under arctic conditions than materials currently in use.

The automotive industry is the biggest user of sheet steel from Canadian mills. With the increasing cost of fuel and the resultant need for conservation, CANMET is cooperating with the Candian steel industry in an effort to develop new formable steels that will combine high strength with lightness and corrosion resistance, to replace heavier conventional steel used in vehicle manufacture.

The growing demand for new and stronger grades of steel has resulted in the need for more powerful rolling mills and more sophisticated design of mill schedules in order to achieve the necessary metallurgical characteristics in the steel from the rolling process. Currently, Canadian mills are at a disadvantage when competing with foreign suppliers who have superior mill facilities.

CANMET has developed an experimental rolling mill, instrumented and computerized to measure and evaluate operating characteristics under various rolling schedules. CANMET's research in this area is carried out in collaboration with the steel industry and other research institutions as part of an integrated effort to upgrade Canada's steel-processing capability.

This is what Arctic ice can do to a ship's hull.

Formability tests are conducted on experimental steel alloys for the automotive industry.

Fracture and Stress Analysis

All metal structures are flawed to some extent, with flaws either originating in manufacture or developing during service. CANMET scientists use a variety of instruments and techniques to detect flaws and stresses in metals; with an established reputation in this field, they are called upon to develop toughness specifications and standards for a wide range of metal structures and engineering materials.

CANMET researchers continually strive to obtain greater understanding of 'flow' and fracture in metal structures, and to develop test methods that will better reflect real conditions affecting structures in service.

While laboratory procedures may involve drilling holes or removing portions of material to test metals for stress, such methods are usually impractical for measuring stresses in the field. Yet it is obviously important to know what stresses may be present in structures such as aircraft, ships, pipelines, nuclear reactors or offshore drilling rigs.

One effective method for detecting and measuring stresses nondestructively is known as X-ray diffraction, but this has not been applied in the field because the sophisticated equipment used is not mobile. CANMET is therefore developing a portable X-ray diffractometer that will measure structural stresses in the field quickly and accurately. A survey of the potential North American market for such an instrument predicts a strong demand — 25 units at $100 000 each in the first year, and some 80 units during each of the following three or four years.

For more than 20 years, The Physical Metallurgy Research Laboratories have been examining and assessing candidates for nondestructive testing certification to standards established by the Canadian Government Specifications Board. A system of practical and

Hot-rolling tests are carried out on a high-strength, low-alloy (HSLA) steel ingot.

The portable X-ray diffractometer developed at CANMET for accurate, on-the-spot measurement of stresses in metal structures.

vritten examinations is admin-
stered through a network of test
entres set up across Canada.
Working on a cost-recovery basis
MRL designs, sets and marks the
xaminations, supplies test
amples, maintains records and
ssues certificates to successful
pplicants. During 1982, more than
00 such certificates were issued
cross the country, denoting quali-
ication in various nondestructive
esting methods.

Metal Melting and Casting

n Canada, individual foundries tend
o be small, but taken together they
onstitute a substantial industry.
The value of their output approaches
hat of the steel industry, and they
re the economic mainstay in many
mall communities across the coun-
ry. An important objective of
CANMET research is to support the
Canadian foundry industry through
he introduction of new metal-
processing technologies that will
elp the industry keep abreast of
ncreasingly stiff foreign competition.

Examples of current major efforts in this direction include the development of new sand binders for moulds and cores, a program to introduce electroslag casting to the Canadian industry, development of new applications for permanent-mould casting, and the transfer to industry of more efficient cupola furnace procedures.

Sand binders currently used in foundry moulds and cores are made either from petroleum-based organic compounds or inorganic compounds based on sodium silicate. Both have disadvantages; the former produce toxic odors and are rapidly increasing in cost, while the inorganic binders are difficult to shake out after the casting is made and also difficult to reclaim. CANMET has undertaken a project to develop new degradable sand binders that will have an acceptable cost, will possess good strength and reclaimability, and will be environmentally more acceptable. A promising organic non-petroleum-based binder system has been developed and its commercial viability is being studied. Meanwhile, the search for other superior binder systems is continuing.

A process called electroslag casting has several attractive features, including very high casting quality and reduced environmental impact. At present, no commercial electroslag casting is carried out in Canada. However, the Department of National Defence is interested in the production of light or thin-wall castings, such as shell blanks, by this method, and is supporting a CANMET project to build an experimental electroslag casting facility and subsequently demonstrate the technology to Canadian industry for commercial and defence production purposes.

A technique known as gravity permanent-mould casting is widely used to cast metals with lower melting points, such as aluminum alloys. Because of the improved surface finish and closer dimensional tolerances that can be achieved with this process — plus the increasing cost of foundry sand and the environmental problems associated with

Pouring molten steel into sand moulds to test new types of sand binders.

disposable-mould casting — CANMET is investigating the possibility of expanding the permanent-mould technology to produce complex castings in metals and alloys with higher melting points, such as iron and steel.

A large segment of the Canadian foundry industry — approximately 80 iron foundries across the country — use cupola furnaces. These furnaces use expensive foundry-grade coke, all of it imported from the United States, rather than cheaper blast-furnace coke. Previous CANMET work on pollution abatement for cupolas indicated that a large number of these furnaces were being operated inefficiently, and that a reduction in coke consumption of from 3 to 5 per cent could be achieved, representing a saving of at least $1 million per year.

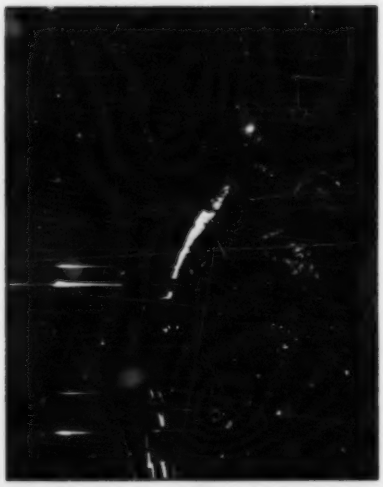
CANMET is transferring to industry the technical and practical know-how to attain greater cupola efficiency, through regional workshops and by means of mini-computer programs that it has developed for the analysis and control of cupola operations. The feasibility of modifying cupola design and operation to permit the use of lower-grade coke is also being investigated.

Cement and Concrete

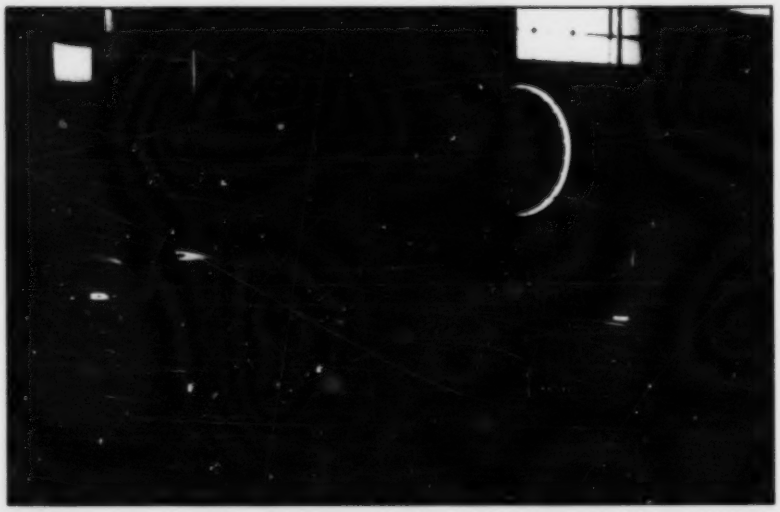
CANMET is involved in a cement and concrete project designed to conserve both energy and resources through the development and use of less energy-intensive materials of mineral origin. Mineral aggregates, cements and concretes are evaluated under exposure to extreme temperatures for use in offshore and nuclear plant construction, and in the development of related destructive and nondestructive test systems. CANMET is also exploring the production of extremely high-strength concretes with mixes of mineral aggregates, fly ashes, and superplasticizers.

The effect of acidic northern lake and river water on the durability and performance of concrete has been studied in cooperation with Hydro-Québec and other agencies in that province, and the results evaluated. Several phases of the research and development with concrete and cement were carried out by industry, including three dealing with the durability of superplasticized concrete. Superplasticizers are new types of chemicals which, when added to concrete, greatly increase its workability and consequently result in much less need for water. Reduction in the use of water opens new possibilities for the use of marginal aggregates and the development of high-strength concretes.

Focusing on energy conservation, CANMET studies have shown that energy savings of from 5 to 50 per cent can be obtained by using blended cements based on portland cement, fly ash, or granulated slags. The use of lightweight aggregate from coal mine shales has been under study as an energy conservation measure.



Molten cast iron is poured into a permanent mould.



This modern compression testing machine, which can exert a maximum load of almost 300 000 kg, is used to test samples of concrete for compressive strength and elastic properties.

Conservation of Minerals and Metals

Minerals and metals represent a large measure of a nation's economic strength. Greater conservation of these valuable resources can be achieved through the discovery of new uses for material that is normally discarded as waste — a subject in which CANMET has a direct interest.

To publicize the extent and availability of primary mining and mineral processing wastes in Canada and to stimulate interest in their use, CANMET compiles information on their occurrence, physical and chemical characteristics, and potential use.

Investigations on recycling machine turnings into new products have been made in both nonferrous and ferrous scrap, and the technical feasibility of recycling both steel and aluminum machine turnings has been demonstrated. Scrap steel and aluminum dealers have been shown how cold compaction of turnings and extrusion can result in material of above-average tensile strength.

Environment, Health and Safety

Increasingly stringent guidelines on the working environment and on effluents from Canadian mining and metallurgical operations have imposed rigid restraints on industry. CANMET, in cooperation with other federal agencies and the provinces, is exploring technology needed to provide long-term solutions to these problems.

Underground Environment

Studies of underground working conditions have concentrated on measures to detect and reduce levels of radiation, harmful fumes, dust and noise.

CANMET maintains laboratories at Ottawa and Elliot Lake, Ont., where scientists test techniques to measure, monitor and control hazardous components of mine atmospheres. Instrumentation for fast and accurate measurement of radioactive emissions is under continuous development. In addition, CANMET has developed and produced a portable radon detector, a miner's hat equipped for monitoring noise levels, and a sampling and analyzing technique that provides an accurate assessment of respirable dust levels in metal mines.

CANMET is now working on the development of an integrated, mobile mine-atmosphere monitoring system that will measure — continuously and at various points in a mine — ventilation parameters, toxic gases, dust and even possibly radiation levels. The objective is to be able to assess the overall health impact of all harmful agents in the atmospheric environment of all types of underground mine.

This portable, battery-operated instrument, designed at CANMET, tells uranium miners quickly and accurately how much radiation they may be exposed to.

In 1981, Canada and the United States signed formal undertakings to conduct cooperative research in mineral technology and the earth sciences. One of the first such ventures was launched in 1982 when CANMET, the Ontario Ministry of Labour and the U.S. Bureau of Mines commenced a cooperative program to jointly evaluate techniques being developed in both countries to reduce exhaust emissions from diesel-powered mining equipment.

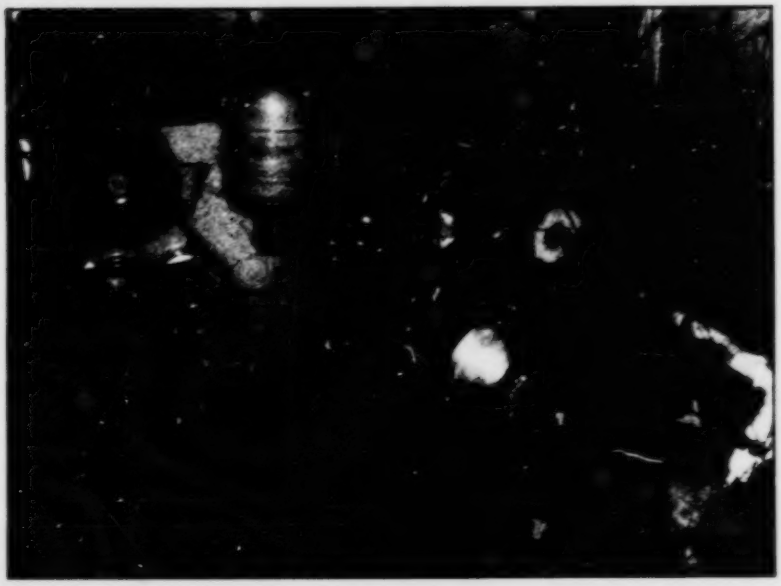
CANMET's Canadian Explosive Atmospheres Laboratory (CEAL) has been working on ways to reduce exhaust emissions for a number of years, with significant results. The research has been concentrated in four major areas: the emulsification of water and of methanol with diesel fuel oil, water-scrubbing of diesel exhaust, and exhaust filtration.

In the water-oil emulsion research, a fuel system containing 15 per cent water was developed that reduced the volume of nitric oxide in diesel exhaust by 38 per cent, and particulate content by 40 per cent. There was no increase in fuel consumption because of an increase in combustion efficiency.

Water scrubbing has been used for about half a century as a coolant for exhausts and equipment surfaces, but until recently little attention was paid to the effect of scrubbing on soot or toxic emissions. CEAL examined existing high-efficiency spray systems, and from a mathematical model, designed a venturi scrubber. Under tests, the system trapped particulate matter at rates ranging from 60 to 75 per cent. In addition the venturi scrubber removed as much as 20 per cent of the nitrogen dioxide in the exhaust.

CEAL research further showed that if the water-oil emulsion system and the venturi scrubber are placed on the same machine, an overall reduction of 80-plus per cent of particulates, compared with untreated levels, would be achieved. Ninety per cent of the sulphur dioxide produced by combustion would also be removed.

CEAL's venturi scrubber, which can reduce particulate matter in diesel exhaust by 60 to 75 per cent.



Laboratory setup of a diesel engine with a ceramic filter incorporated in the exhaust system. The barrel-shaped filter is mounted midway on the exhaust pipe (right foreground).

Although the scrubber absorbs only small amounts of carbon monoxide, carbon dioxide and nitric oxide, CEAL estimates that by combining the venturi and emulsion systems, a total reduction of 70 per cent of the overall exhaust toxicity can be realized. This combination has the potential of being especially suitable for improving the environment in explosive atmospheres such as coal mines.

CEAL has been working with exhaust filters for non-explosive underground environments. Fibreglass cloth filters were developed and tested. Further improvements continue to be sought with the evaluation of Corning ceramic filters. As much as 95 per cent of the particulate matter from diesel exhaust can be removed by these filter systems, and when they are used in conjunction with the emulsified fuel, a reduction in exhaust toxicity of 50 per cent can be achieved.

Uranium Tailings

Public concern over the safe disposal of uranium mine and mill tailings, and the need to develop a comprehensive knowledge base to permit assured decommissioning of mine-waste areas after mine shutdown, led to the formation in 1980 of the National Technical Planning Group on Uranium Tailings Research. This group recommended the establishment of a national uranium tailings research program, coordinated by CANMET. The program, officially announced in September 1982, is a major study that includes mathematical modelling of tailings systems, the measurement of relevant parameters in existing tailings, and the identification of economically feasible disposal technologies.

For a number of years CANMET has been studying and evaluating tailings and mechanisms to control their impact on the environment. A comprehensive revegetation program has been developed to establish plant growth, and regular applications of fertilizers, sludge or sawdust are used to build up organic-rich soils. Legumes and self-propagating

Workers install an instrument to measure the water pressure at several horizons or levels in uranium tailings at Elliot Lake.

plants develop in two to three years, and trees appear as volunteer growth within the following few years. The composting of municipal wastes to speed the establishment of organic-rich soil has been examined in test areas.

The characterization of the physical and chemical processes within and surrounding the tailings site has also been pursued. Small laboratory cells and large on-site test pits have been used for controlled studies of weathering, covering materials, absorbent materials and chemical additives. Hydraulic studies and analyses of the paths of heavy metals, acid drainage and radioactive species downstream from the tailings are being conducted to predict the long-term impact of tailings effluents.

Sulphide Tailings

The formation of polythionates during grinding and flotation of sulphide ores results in a troublesome environmental problem due to their tendency to slowly oxidize. This can create acid conditions in receiving streams several kilometres downstream from the tailings pond.

Extensive studies were made of several thiosalts in cooperation with New Brunswick mining companies working with sulphide ores, and a comprehensive literature review on thiosalts was completed. A number of alternative methods for thiosalt destruction were evaluated. Bacterial oxidation is the most economical method, so efforts are being focused on a search for the most active bacterial culture, and engineered systems are being tested on site. A study of the effects of acids, temperature, surface areas, type and concentration of nutrient, heavy metals and flotation reagents has guided this work. Significant advances have been made in the analysis of thiosalts.

Pyrometallurgical Emissions

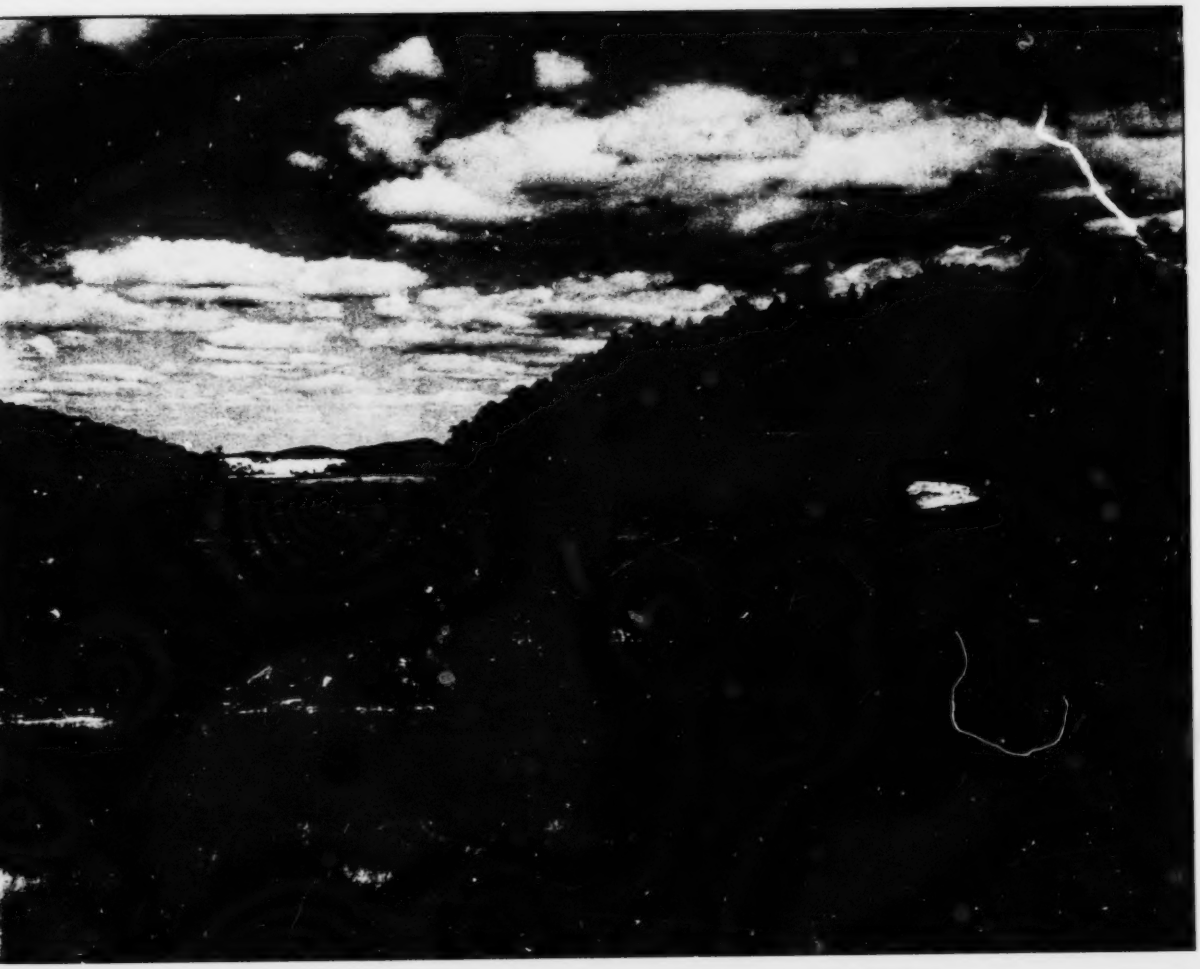
Foundry and steel manufacturing industries are required to meet firm environmental regulations. To help control the emissions from pyrometallurgical industries, CANMET has developed a device for removing particulates and recovering waste heat from smokestacks. Known as a packed-bed filter, it passes the hot effluent gases through beds of granular material and recycles the heat recovered from the stack. The CANMET system was tested in modified form in a foundry at Winnipeg. Emission sampling tests, undertaken to determine compliance with the pollution control regulations of the Province of Manitoba, indicated satisfactory performance of the unit.

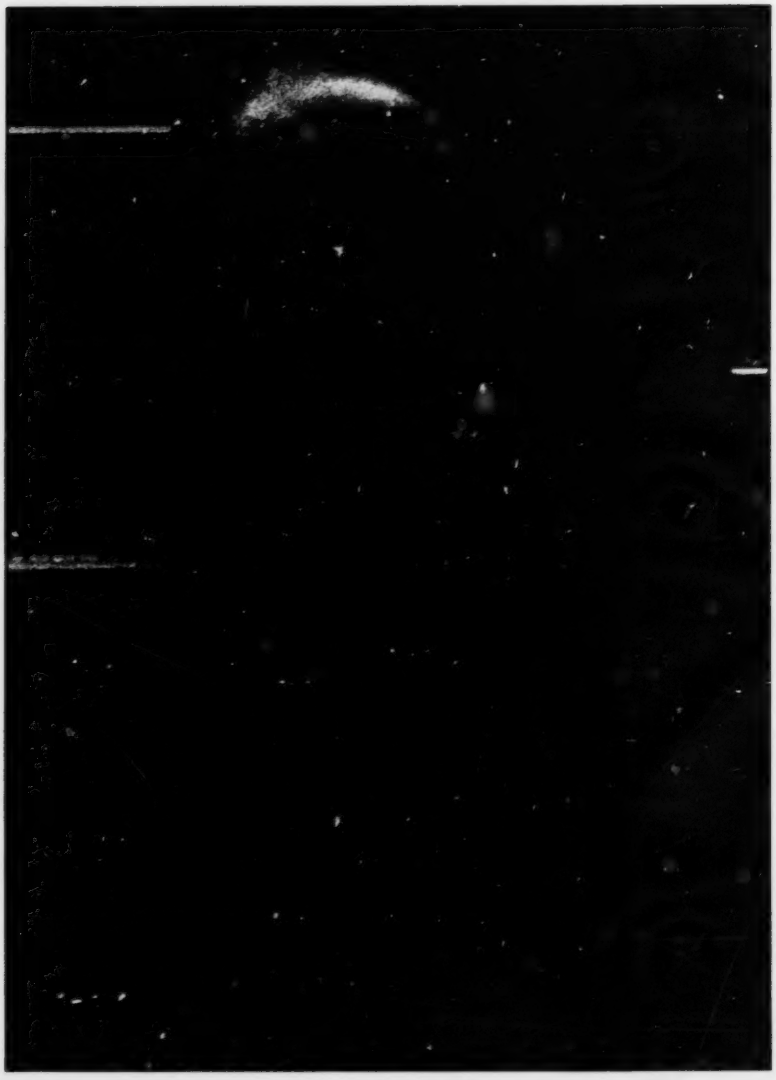
Increasing evidence of the damaging effects of acid rain has resulted in demands for more research on the control of sulphur dioxide (SO_2) emissions. CANMET scientists are evaluating the effectiveness and economics of collection devices for dilute SO_2 streams from Canadian smelters. The efficiency of various limestones in adsorbing SO_2 in combustion systems is also being evaluated. Other smelter emissions, such as mercury and arsenic, are being assessed in order to devise improved process technologies for abatement.

Plant Environment

To help reduce health and safety problems associated with fibre dusts generated in dry processing of asbestos ores, CANMET has worked to develop a program for wet processing of asbestos. One technique, using a cone-type classifier for liberating fibres from asbestos ore samples, has proved successful. CANMET has also materially contributed to a revised health and work standard on asbestos, and a new study has been started involving industry, government and research organizations in Canada, the United States and Europe.

Revegetated tailings.





The accelerating rate calorimeter is used to determine the thermal hazards of explosives.

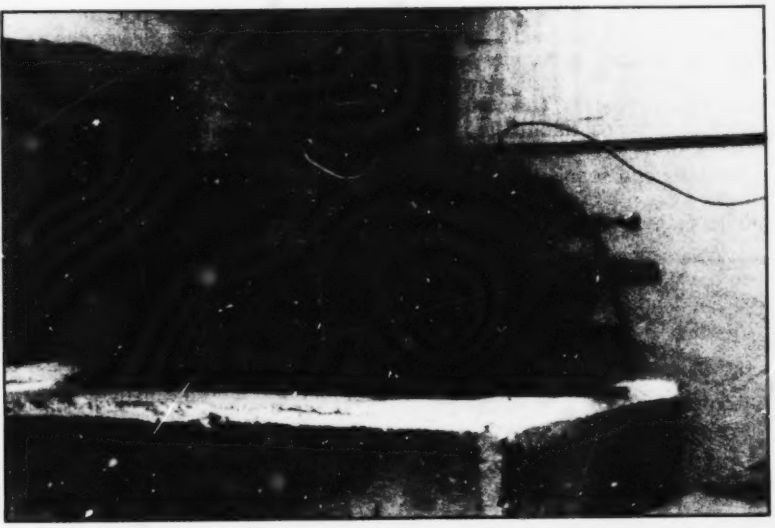
Testing and Authorization of Explosives

The physical, chemical and explosive properties of all material of an explosive nature, whether manufactured in Canada or imported, are tested as required by the *Explosives Act* and the *Transportation of Dangerous Goods Act*, to ensure that they are relatively safe to manufacture, handle, store, transport and use. Explosives which in the opinion of the Chief Inspector of EMR's Explosives Branch are deemed suitable are declared 'Authorized'.

The testing work is performed by CANMET's Canadian Explosives Research Laboratory. CERL also examines samples submitted by other government departments, the police and industry for specific purposes. The laboratory also cooperates with similar establishments in other countries to further the understanding of explosives and to refine or to develop new test methods, standards and specifications.

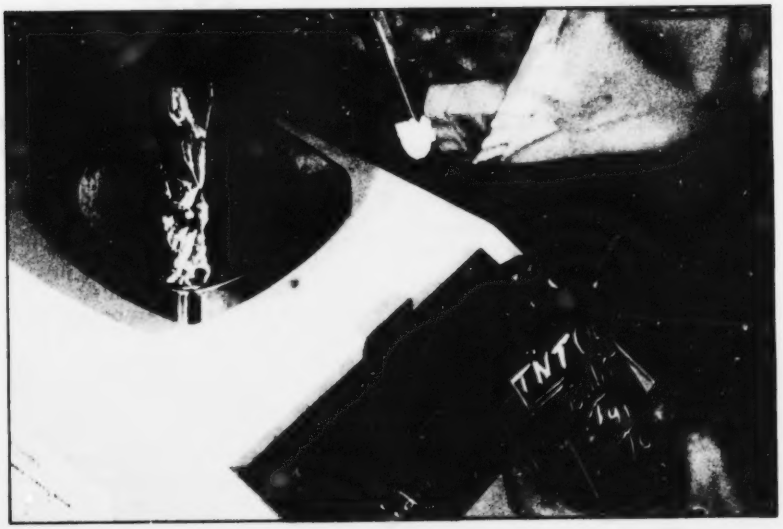
Slurry explosives are assuming a more prominent role in mining operations; CERL has launched an intensive series of tests in cooperation with its counterparts in other countries to determine the hazards that these and similar explosives pose during manufacture, transport and storage. Slurry explosives contain ammonium nitrate, with other substances in aqueous suspension, which are used in boreholes. When they have been loaded a gel is formed upon which less expensive but non-water-resistant explosives can be loaded.

CERL personnel from time to time are required to appear as expert witnesses in court proceedings involving explosives.



This piece of equipment, called a universal receiver, is used by CERL scientists to evaluate processes and velocities developed by sporting ammunition.

CERL uses the ballistic mortar to measure the energy released by an explosive.



Precise measurement of TNT charges for calibration of ballistic mortar at CERL.

Technology Information and Transfer

The laboratory is the workshop of knowledge, but to be useful, new technologies and skills must be effectively transferred to those who need the information. The communication of technical information is, in itself, a profession of increasing complexity and sophistication as greater amounts of new information are generated.

CANMET's library contains Canada's single largest collection of literature on mineral and energy technology.

Hundreds of CANMET technical reports are prepared for publication each year in the Technology Information Division's publications section.

CANMET scientists publish reports of their work, deliver papers at seminars and conferences, give direct assistance to industries experiencing technological problems, and advise government on the impact of new technology on proposed policies.

Backing up its scientific work, CANMET has a Technology Information Division that provides the major mechanism for the transfer of information.

- The Division acquires and organizes information resources of research value, and is a national resource centre for mineral and energy publications.
- It prepares machine-readable abstracts and indexes of mining technology, mineral processing and coal technology literature, the last in conjunction with the International Energy Agency (IEA). Users with compatible terminals can access these data bases directly and do their own searches.
- It participates in the diffusion of technical information by publishing 500 to 600 reports annually, prepared both by CANMET scientists and other researchers working on projects sponsored by CANMET.
- It provides technical information to scientists in government, industry and research centres through its inquiry response and referral service.

As its principal information source, the Division administers a technical library of some 200 000 monographs, technical reports, conference proceedings, periodicals and research reports — the largest collection of technical literature in Canada devoted to mineral and energy technology.

In 1981, an Office of Technology Transfer was established as a central agency within CANMET to ensure the efficient transfer of new technology from the laboratory stage to the point of practical application.

Technology transfer provides the link between CANMET and its clients, which include industry, other federal departments, provincial governments, and agencies such as Crown corporations.

The Future at CANMET

CANMET's work in energy technology will continue to reflect the realities and needs of a world in which the energy system is making a transition from conventional fossil fuels to alternative energy sources.

Specific priorities may shift as conditions dictate, but basically, CANMET's energy R&D efforts in the years ahead will be aimed at:

- new upgrading and conversion technologies for producing and using alternative fuels from domestic resources, with minimum impact on the environment;
- new conservation technologies that will enable more efficient use of existing oil supplies and promote the conversion from oil to other energy sources;
- more environmentally acceptable extraction, processing and transportation methods for the energy industry.

The mineral and metal industry of Canada is a most important export sector in Canada's trading economy. The mines are a vital stimulus to regional development and to settlement in remote areas of the country. Thus a major objective of CANMET's future work in minerals research will be to keep Canada at the leading edge of knowledge in mining, processing and fabricating technologies, and thus ensure that the country's mineral industry remains competitive in world markets. At the same time, society, through government, requires that primary industry operate with a minimum of environmental damage, and also protect the health and safety of workers at all levels in the production and use of our abundant natural resources. Consequently, CANMET will continue to serve Canada by means of mission-oriented R&D to assist in sound policy decisions, and to develop protection technologies for health, safety, and the environment, as well as productivity technologies to aid the mining industry in its role as an important component of Canada's economy.

For further information contact:

Technology Information Division
The Canada Centre for Mineral and Energy Technology
555 Booth Street
Ottawa K1A 0G1

Cette publication est aussi
disponible en français.

© Minister of Supply and Services Canada 1984

Cat. No. M39-12/1984E

ISBN 0 662-131738

La technologie à l'assaut de nos ressources

La technologie à l'assaut de nos ressources

La recherche fédérale en matière de minéraux, de métaux et de combustibles

CANMET
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Table des matières

Introduction	4
Organisation de CANMET	6
Programme de recherche énergétique	8
Charbon	8
Évaluation des réserves	9
Technologie des mines de charbon	9
Stabilité des terrains	9
Environnement des mines de charbon	11
Sûreté du matériel	12
Préparation du charbon	13
Recherches sur la fabrication du coke	15
Liquéfaction et gazéification du charbon	16
Techniques classiques de combustion du charbon	18
Combustion sur lit fluidisé	18
Transport du charbon	19
Emploi de la tourbe comme combustible	20
Hydrocarbures	20
Procédé d'hydrocraquage de CANMET	20
Recherches sur la combustion	21
Chauffage des maisons	21
Rendement des moteurs d'automobiles	23
Énergie nucléaire et électricité	23
La politique de l'uranium et le GERU	23
Extraction de l'uranium	24
Stockage des déchets nucléaires	25
Céramiques électriques	25
La recherche minérale à CANMET	26
Évaluation des ressources minérales	26
Technologie minière	26
Exploitation minière en surface	26
Exploitations souterraines	27
Forages au diamant	28

Traitement des minéraux	29
Minerais sulfurés	29
Minerai de fer	31
Alumine	31
Isolants minéraux	32
Préparation de matières types homologuées	32
Utilisation des minéraux	32
Recherches sur la corrosion et l'abrasion	32
Améliorations des aciers et des techniques de formage des métaux	33
Analyse des ruptures et contraintes	36
Formage et coulage des métaux	37
Ciment et béton	38
Conservation des minéraux et des métaux	39
Environnement, santé et sécurité	39
L'environnement au fond des mines	39
Résidus d'uranium	41
Résidus sulfurés	42
Émissions des industries pyrométallurgiques	42
Environnement industriel	43
Mise à l'essai d'explosifs et autorisation d'utilisation	44
Information technologique et diffusion de la technologie	46
L'avenir à CANMET	47

Introduction

De tout temps, les êtres humains ont utilisé la roche qui entre dans la composition de leur planète pour satisfaire un grand nombre de leurs besoins fondamentaux. Déjà à l'âge de pierre, ils se servaient de fragments de roche pour fabriquer des outils. Plus tard, leurs descendants ont découvert des façons élémentaires d'extraire certains métaux de la roche. Par la suite, ils ont appris à combiner deux des métaux primitifs, l'étain et le cuivre, pour former du bronze, et ce progrès est à ce point remarquable que toute une époque de l'évolution de la race humaine a été nommée d'après cette découverte.

Complexe de CANMET à Bells Corners, près d'Ottawa.

Puis vinrent la découverte du fer et d'autres métaux, ainsi que de nouvelles et meilleures méthodes de façonner les métaux pour créer des produits utiles. Les êtres humains en sont venus à reconnaître et à utiliser de nombreux minéraux non métalliques, notamment le pétrole, le gaz naturel et le charbon, combustibles fossiles qui ont joué un rôle déterminant dans le développement de la société industrielle moderne.

Le sol et le sous-sol du Canada recèlent des gîtes minéraux dont les dimensions et la diversité sont considérables et qui apportent une large contribution à l'économie du pays; le Canada est le troisième producteur de minéraux en importance dans le monde et le plus grand exportateur de minéraux. En fait, la valeur totale de la production de minéraux représente aujourd'hui plus de 10 % du produit national brut.

Même si le Canada occupe cette position de choix sur le marché mondial des minéraux, les niveaux de salaire de ses travailleurs et les teneurs de ses minéraux sont généralement inférieurs à ceux que l'on trouve dans beaucoup d'autres grands pays exportateurs de minéraux. Ces désavantages économiques sont néanmoins compensés par la supériorité de la technologie canadienne de l'extraction et du traitement des minéraux. Si le Canada jouit d'un avantage technologique, c'est en grande partie grâce au travail du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), qui, depuis plus de 75 ans, cherche et met au point des méthodes plus sûres et plus efficaces pour extraire, transformer et utiliser les minéraux canadiens.

Complexe du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources de la rue Booth, à Ottawa. Les laboratoires de CANMET occupent la partie nord du complexe (partie entourée dans la photo).

Organisation de CANMET

Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) est le principal organe de recherche technologique du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Il a été fondé en 1907 sous le nom de Direction des mines, dans le but d'accomplir les travaux de recherche et de développement (R-D) dont avait besoin une industrie minière canadienne alors jeune et en pleine expansion. Le champ d'application de ses travaux s'étant élargi au fil des ans, la Direction des mines a subi une réorganisation en 1974, et on lui a alors donné un nouveau nom qui décrit mieux ses activités plus diverses et plus nombreuses dans deux domaines distincts mais interreliés, à savoir la technologie des minéraux et la technologie de l'énergie.

Le mandat de CANMET, tel que confirmé en 1982, est de rehausser le rôle et l'apport des minéraux et de l'énergie dans l'économie canadienne. Des activités spécifiques de recherche et développement dans les domaines des mines, du traitement des minéraux, de l'utilisation des métaux ainsi que des minéraux et combustibles industriels sont les moyens d'atteindre cet objectif. Ces activités servent à :

- Fournir au Ministre des éléments d'information qui servent à élaborer des politiques touchant les ressources non renouvelables;
- Appuyer les objectifs sociaux du gouvernement dans les domaines de la santé, de la sécurité et de l'environnement;
- Appuyer les travaux de R-D menés au sein de l'industrie afin d'améliorer le rendement économique et la productivité de ce secteur industriel.

Dans le cadre de ce mandat, CANMET fait de la recherche fondamentale et appliquée, de la mise au point et de la démonstration de nouvelles technologies et se charge aussi de leur transfert à l'industrie. Loin de travailler isolément, CANMET entretient des liens étroits avec l'industrie et d'autres organisations vouées à la recherche, afin de faire en sorte que tous les projets soient axés sur des besoins et des problèmes réels, actuels et futurs. À cet égard, le comité consultatif national de la recherche en génie minier et métallurgique a un important rôle de conseil à jouer auprès de CANMET.

C'est pourquoi une bonne partie des recherches que CANMET poursuit actuellement dans le domaine de l'énergie vise à répondre aux besoins pressants que sont les économies d'énergie, à assurer la meilleure utilisation des sources d'énergie actuelles et à mettre en valeur de nouvelles sources d'énergie. Même impératif dans le domaine des minéraux: les minerais riches et les gisements facilement accessibles du pays s'épuisent, et il est nécessaire de mettre au point des techniques d'exploitation pouvant atteindre des gisements très profonds et moins accessibles; il est également nécessaire de recourir à des moyens plus efficaces de traiter les minerais dont il est techniquement et économiquement plus difficile d'extraire des minéraux, en raison de leur faible teneur minérale ou de leur composition complexe.

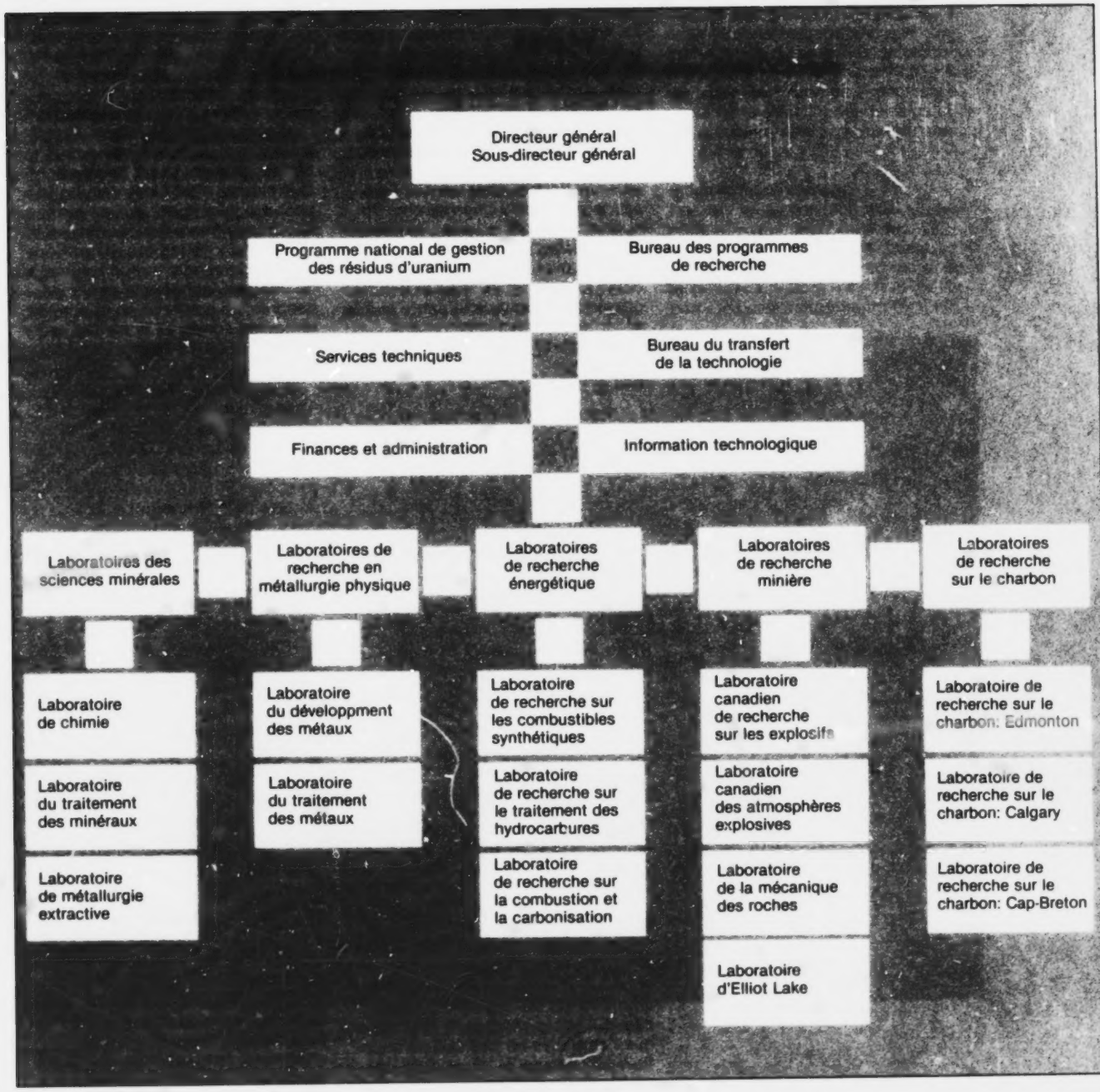
Un autre aspect important du travail de CANMET est la recherche qui vise à améliorer la qualité et l'utilité des métaux et d'autres matériaux issus des ressources minérales et à perfectionner les procédés de coulée, de façonnage et de soudage des métaux. Une bonne partie de cette activité se rattache à la mise en valeur des ressources offshore et dans le Grand Nord, qui exigera des matériaux pouvant mieux résister aux conditions difficiles auxquelles ils seront soumis.

CANMET fait également beaucoup pour atténuer les problèmes de santé et de sécurité dans les mines et minimiser l'effet, sur l'environnement, des effluents que produisent les industries de l'extraction et du traitement des minéraux, de même que l'utilisation accrue du charbon comme combustible.

CANMET compte près de 800 scientifiques, ingénieurs, techniciens et autres employés de soutien. Conformément à la politique du gouvernement, CANMET affecte environ le quart de son budget annuel à des projets de R-D qu'il confie à l'industrie et aux universités.

CANMET œuvre dans cinq grands domaines: la recherche sur l'énergie, les sciences minérales, la métallurgie physique, la recherche minière et la recherche sur le charbon. En vertu de la *Loi sur les explosifs au Canada*, il lui incombe également d'éprouver tous les matériaux explosifs employés au Canada. Il exécute ses travaux dans un certain nombre de laboratoires et d'usines pilotes situés à Ottawa et à plusieurs autres endroits (voir l'organigramme).

L'administration centrale de CANMET, située à Ottawa, comprend le Bureau du directeur général, le Bureau des programmes de recherche, le Bureau du transfert de la technologie, la Division de l'information technologique et les Services techniques. Le Bureau des programmes de CANMET planifie et évalue toutes les activités, de concert avec les cadres hiérarchiques des laboratoires. Le Bureau du transfert de la technologie est chargé d'études techniques et économiques et voit à promouvoir et encourager le transfert de la technologie de CANMET à l'industrie canadienne.


Directeur général
Sous-directeur général
Programme national de gestion des résidus d'uranium
Bureau des programmes de recherche
Services techniques
Bureau du transfert de la technologie
Finances et administration
Information technologique
Laboratoires des sciences minérales
Laboratoires de recherche en métallurgie physique
Laboratoires de recherche énergétique
Laboratoires de recherche minière
Laboratoires de recherche sur le charbon
Laboratoire de chimie
Laboratoire du traitement des minéraux
Laboratoire de métallurgie extractive
Laboratoire du développment des métaux
Laboratoire du traitement des métaux
Laboratoire de recherche sur les combustibles synthétiques
Laboratoire de recherche sur le traitement des hydrocarbures
Laboratoire de recherche sur la combustion et la carbonisation
Laboratoire canadien de recherche sur les explosifs
Laboratoire canadien des atmosphères explosives
Laboratoire de la mécanique des roches
Laboratoire d'Elliot Lake
Laboratoire de recherche sur le charbon: Edmonton
Laboratoire de recherche sur le charbon: Calgary
Laboratoire de recherche sur le charbon: Cap-Breton

Organisation de CANMET

Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) est le principal organe de recherche technologique du ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources. Il a été fondé en 1907 sous le nom de Direction des mines, dans le but d'accomplir les travaux de recherche et de développement (R-D) dont avait besoin une industrie minière canadienne alors jeune et en pleine expansion. Le champ d'application de ses travaux s'étant élargi au fil des ans, la Direction des mines a subi une réorganisation en 1974, et on lui a alors donné un nouveau nom qui décrit mieux ses activités plus diverses et plus nombreuses dans deux domaines distincts mais interreliés, à savoir la technologie des minéraux et la technologie de l'énergie.

Le mandat de CANMET, tel que confirmé en 1982, est de rehausser le rôle et l'apport des minéraux et de l'énergie dans l'économie canadienne. Des activités spécifiques de recherche et développement dans les domaines des mines, du traitement des minéraux, de l'utilisation des métaux ainsi que des minéraux et combustibles industriels sont les moyens d'atteindre cet objectif. Ces activités servent à :

- Fournir au Ministre des éléments d'information qui servent à élaborer des politiques touchant les ressources non renouvelables;
- Appuyer les objectifs sociaux du gouvernement dans les domaines de la santé, de la sécurité et de l'environnement;
- Appuyer les travaux de R-D menés au sein de l'industrie afin d'améliorer le rendement économique et la productivité de ce secteur industriel.

Dans le cadre de ce mandat, CANMET fait de la recherche fondamentale et appliquée, de la mise au point et de la démonstration de nouvelles technologies et se charge aussi de leur transfert à l'industrie. Loin de travailler isolément, CANMET entretient des liens étroits avec l'industrie et d'autres organisations vouées à la recherche, afin de faire en sorte que tous les projets soient axés sur des besoins et des problèmes réels, actuels et futurs. À cet égard, le comité consultatif national de la recherche en génie minier et métallurgique a un important rôle de conseil à jouer auprès de CANMET.

C'est pourquoi une bonne partie des recherches que CANMET poursuit actuellement dans le domaine de l'énergie vise à répondre aux besoins pressants que sont les économies d'énergie, à assurer la meilleure utilisation des sources d'énergie actuelles et à mettre en valeur de nouvelles sources d'énergie. Même impératif dans le domaine des minéraux: les minerais riches et les gisements facilement accessibles du pays s'épuisent, et il est nécessaire de mettre au point des techniques d'exploitation pouvant atteindre des gisements très profonds et moins accessibles; il est également nécessaire de recourir à des moyens plus efficaces de traiter les minerais dont il est techniquement et économiquement plus difficile d'extraire des minéraux, en raison de leur faible teneur minérale ou de leur composition complexe.

Un autre aspect important du travail de CANMET est la recherche qui vise à améliorer la qualité et l'utilité des métaux et d'autres matériaux issus des ressources minérales et à perfectionner les procédés de coulée, de façonnage et de soudage des métaux. Une bonne partie de cette activité se rattache à la mise en valeur des ressources offshore et dans le Grand Nord, qui exigera des matériaux pouvant mieux résister aux conditions difficiles auxquelles ils seront soumis.

CANMET fait également beaucoup pour atténuer les problèmes de santé et de sécurité dans les mines et minimiser l'effet, sur l'environnement, des effluents que produisent les industries de l'extraction et du traitement des minéraux, de même que l'utilisation accrue du charbon comme combustible.

CANMET compte près de 800 scientifiques, ingénieurs, techniciens et autres employés de soutien. Conformément à la politique du gouvernement, CANMET affecte environ le quart de son budget annuel à des projets de R-D qu'il confie à l'industrie et aux universités.

CANMET œuvre dans cinq grands domaines: la recherche sur l'énergie, les sciences minérales, la métallurgie physique, la recherche minière et la recherche sur le charbon. En vertu de la *Loi sur les explosifs au Canada*, il lui incombe également d'éprouver tous les matériaux explosifs employés au Canada. Il exécute ses travaux dans un certain nombre de laboratoires et d'usines pilotes situés à Ottawa et à plusieurs autres endroits (voir l'organigramme).

L'administration centrale de CANMET, située à Ottawa, comprend le Bureau du directeur général, le Bureau des programmes de recherche, le Bureau du transfert de la technologie, la Division de l'information technologique et les Services techniques. Le Bureau des programmes de CANMET planifie et évalue toutes les activités, de concert avec les cadres hiérarchiques des laboratoires. Le Bureau du transfert de la technologie est chargé d'études techniques et économiques et voit à promouvoir et encourager le transfert de la technologie de CANMET à l'industrie canadienne.

CANMET
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Directeur général
Sous-directeur général

Programme national de gestion des résidus d'uranium

Bureau des programmes de recherche

Services techniques

Bureau du transfert de la technologie

Finances et administration

Information technologique

Laboratoires des sciences minérales	Laboratoires de recherche en métallurgie physique	Laboratoires de recherche énergétique	Laboratoires de recherche minière	Laboratoires de recherche sur le charbon
Laboratoire de chimie	Laboratoire du développment des métaux	Laboratoire de recherche sur les combustibles synthétiques	Laboratoire canadien de recherche sur les explosifs	Laboratoire de recherche sur le charbon: Edmonton
Laboratoire du traitement des minéraux	Laboratoire du traitement des métaux	Laboratoire de recherche sur le traitement des hydrocarbures	Laboratoire canadien des atmosphères explosives	Laboratoire de recherche sur le charbon: Calgary
Laboratoire de métallurgie extractive		Laboratoire de recherche sur la combustion et la carbonisation	Laboratoire de la mécanique des roches	Laboratoire de recherche sur le charbon: Cap-Breton
			Laboratoire d'Elliot Lake	

Programme de recherche énergétique

Dans un vaste pays nordique comme le Canada, il est essentiel de disposer d'approvisionnements en énergie qui soient abondants et fiables, afin que la population puisse se chauffer et se déplacer selon ses besoins. À CANMET, la recherche dans le domaine de l'énergie vise principalement à améliorer la récupération, le traitement et l'utilisation du charbon, des combustibles nucléaires et des sources de pétrole non classiques. CANMET s'occupe en particulier des combustibles à faible rendement et attache une très grande importance à la santé et à la sécurité des travailleurs et à la protection de l'environnement.

Charbon

Le charbon est le seul combustible fossile dont nous disposerons probablement en abondance pendant le reste de ce siècle et pendant une bonne partie du siècle prochain. Il s'agit donc de l'une des sources d'énergie que nous pouvons utiliser pour faire la transition entre l'ère du pétrole et du gaz naturel, qui tire à sa fin, et l'époque prochaine où nous pourrons mettre en valeur de nouvelles sources d'énergie.

Les trois principaux usages du charbon sont la production d'électricité (charbon thermique), la fabrication de coke à l'intention de l'industrie sidérurgique (charbon métallurgique) et la conversion (gazéification ou liquéfaction) du charbon. Pour chacune de ces applications, il faut recourir à un charbon possédant des caractéristiques et des qualités particulières.

Rien ne ressemble plus à un morceau de charbon qu'un autre morceau de charbon, mais il existe en fait beaucoup de rangs et qualités de charbon. Plus le rang est élevé, plus grande est la capacité calorifique. On compte essentiellement quatre rangs de charbon: l'anthracite, qui est le charbon le plus dur et que l'on trouve en très faibles quantités au Canada, le bitumineux, le subbitumineux et finalement le charbon le plus tendre, le lignite.

Chacun d'eux est utilisé à des fins particulières. Ainsi, les charbons bitumineux se prêtent bien à la fabrication du coke; selon leurs caractéristiques, certains d'entre eux peuvent être employés directement, tandis que d'autres doivent être mélangés. Les subbitumineux et lignites peuvent servir de charbons thermiques, c'est-à-dire être brûlés pour produire la chaleur ou la vapeur nécessaire à la production d'électricité. Dans tous les cas, il faut prendre en considération les qualités du charbon, qui sont la teneur en cendres, en soufre et en impuretés de toutes sortes, et la facilité avec laquelle ces éléments peuvent être supprimés.

Les ressources en charbon du Canada sont concentrées dans l'Ouest alors que plus de 75 % se trouve en Alberta et 15 % en Colombie-Britannique. La Saskatchewan, de même que la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick dans l'Est en recèlent aussi des gisements importants. Les charbons de l'Ouest ont une forte teneur en cendres et contiennent peu de soufre; dans l'Est, c'est le contraire.

Les charbons convenant à la fabrication du coke sont extraits en Alberta, en Colombie-Britannique et en Nouvelle-Écosse. Pour les applications thermiques, des houilles de diverses qualités sont produites en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique. On trouve du lignite en Saskatchewan, et on sait qu'il en existe dans le Nord de l'Ontario. Certains gisements de charbon semi-anthraciteux se rencontrent dans la partie albertaine des Rocheuses; plus à l'ouest, en Colombie-Britannique, il existe des venues d'anthracite. On trouve également du charbon dans le Grand Nord.

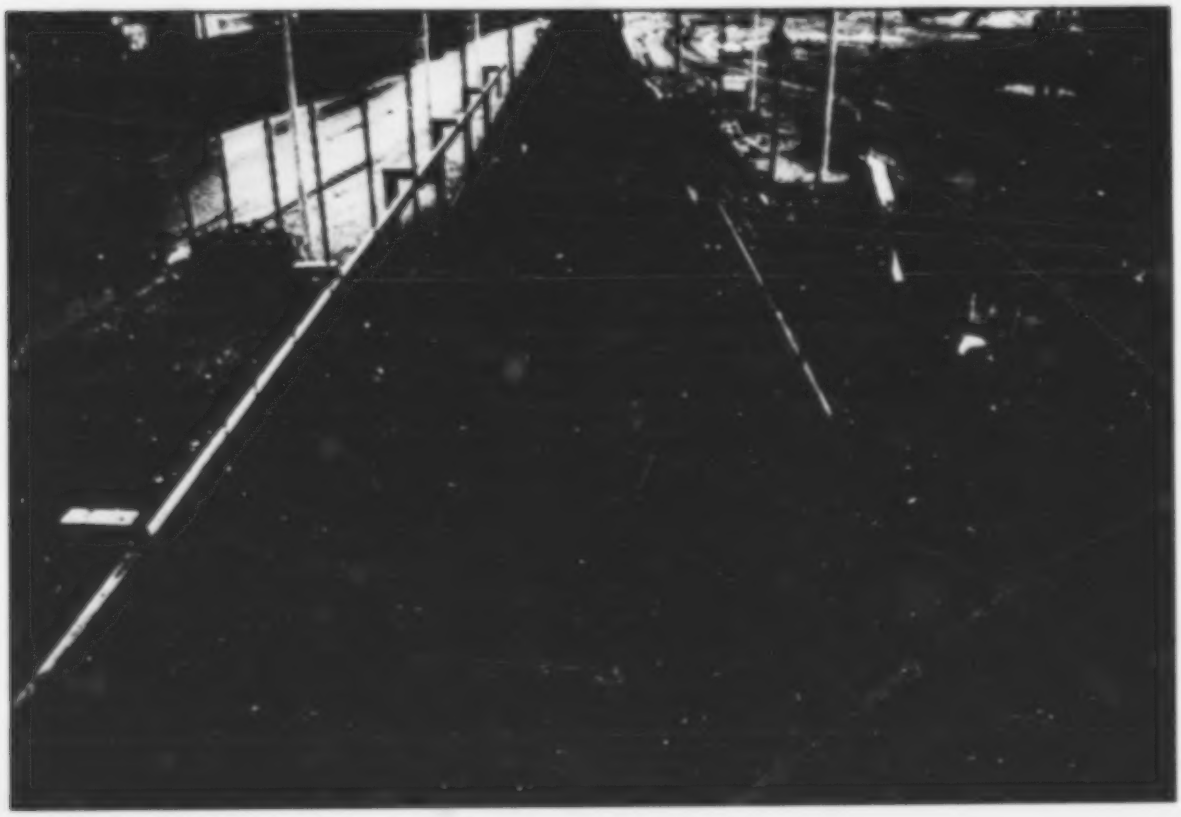
Les recherches entreprises à CANMET dans ce domaine ont pour buts d'évaluer les réserves de charbon et la qualité des charbons du Canada, de mettre au point des techniques d'exploitation plus efficaces et plus sûres et d'améliorer les méthodes de préparation des charbons pour les divers usages auxquels ils sont destinés.

Évaluation des réserves
CANMET évalue la qualité des charbons pour l'industrie selon une formule de recouvrement des coûts, mais aussi il aide les provinces productrices de charbon à évaluer la qualité de leurs gisements en assurant des services d'analyse, d'interprétation et de gestion des données. Grâce aux échantillons que lui fournissent périodiquement toutes les mines canadiennes, CANMET obtient les données dont il a besoin pour mettre à jour la publication *Analysis Directory of Canadian Commercial Coals*.

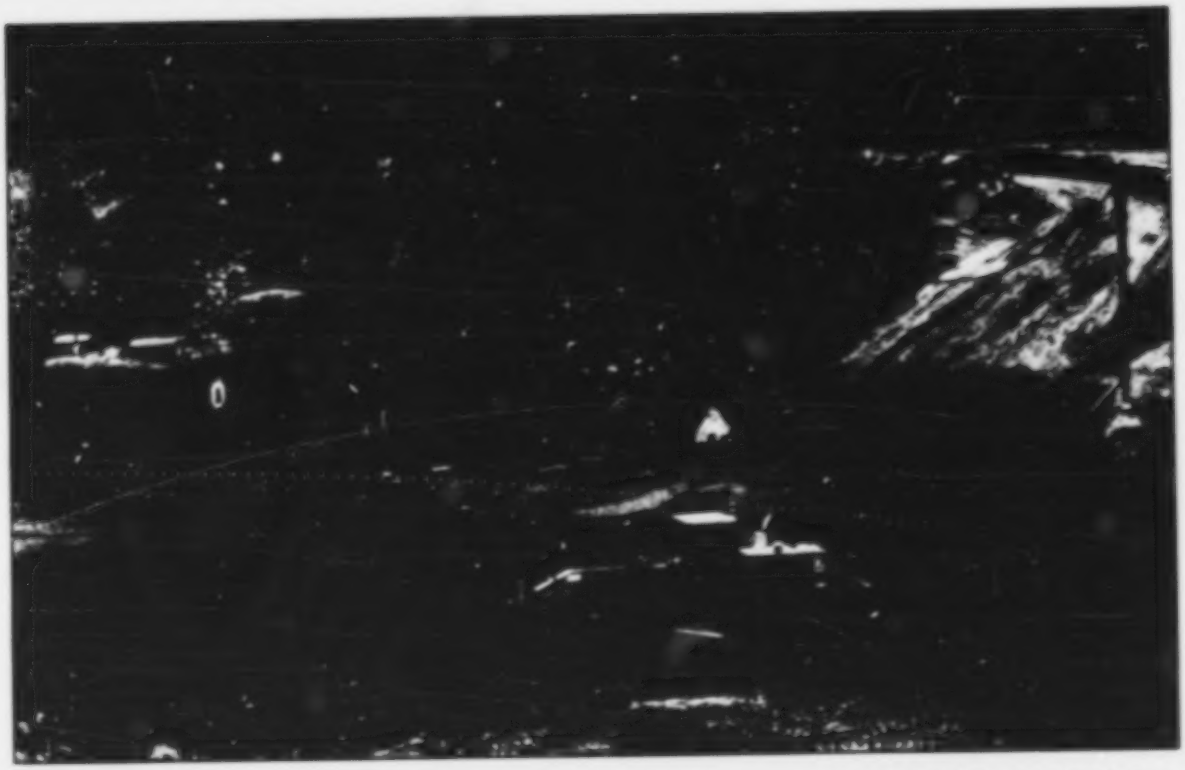
Technologie des mines de charbon
Les mines canadiennes ont produit plus de 39 millions de tonnes de charbon en 1981. D'ici à l'an 2000, cette production pourrait augmenter à un volume compris entre 100 et 150 millions de tonnes. Or, il est indispensable que la technologie minière progresse au même rythme.

Environ 85 % des charbons canadiens sont produits dans des mines à ciel ouvert, dont la plupart se trouvent dans les Prairies; les 15 % qui restent proviennent de mines souterraines. Au cours des années à venir, comme par le passé, c'est dans les exploitations souterraines que continueront de se poser les problèmes technologiques les plus difficiles à résoudre, en raison de l'importance vitale de la stabilité des terrains et de la sécurité de l'atmosphère pour les mineurs.

Stabilité des terrains
Les méthodes d'exploitation souterraine utilisées dépendent des diverses caractéristiques (forme, épaisseur et angle) des couches, de la profondeur du gisement et de l'importance des mouvements tectoni-



Le charbon de l'Ouest canadien arrive à un terminal de la Colombie-Britannique, d'où il sera expédié outre-mer.



Mine de charbon à ciel ouvert dans l'Ouest canadien.

ques qui affectent les formations géologiques. Dans les mines souterraines de type classique, où les couches ont un pendage nul ou presque nul, on emploie la technique d'exploitation par chambres et piliers ou la technique de la longue taille. La méthode des chambres et piliers consiste à creuser des ouvertures ou des galeries étroites dans le filon, le quadrillage de piliers de charbon ainsi formé servant de soutènement. Souvent, on enlève les piliers en laissant s'effondrer la roche sus-jacente. Dans l'exploitation par longue taille, on creuse des galeries largement espacées, en contournant de gros blocs de charbon qui sont par la suite enlevés.

Dans l'Est du Canada, le charbon extrait dans les mines souterraines est en majeure partie récupéré par la méthode de la longue taille, certaines mines se prolongeant sur plusieurs centaines de mètres sous l'océan Atlantique. Dans l'Ouest, le charbon est extrait dans des mines souterraines par la méthode des chambres et piliers et par exploitation hydraulique.

La technique d'exploitation hydraulique consiste à déloger le charbon au moyen d'un jet d'eau puissant à haute pression. Le charbon est ainsi transporté hors de la mine et séparé de l'eau à la surface. Une grande partie du charbon est extrait du filon-couche au moyen de cette technique moins coûteuse que d'autres méthodes. Il se produit dans ce cas moins de poussières de sorte que les mineurs travaillent dans des conditions plus saines.

Dans une mine de charbon souterraine, on emploie une machine hydraulique pour enfoncer des étais dans le toit et ainsi accroître la stabilité de l'ensemble.

CANMET a conçu et mis au point des instruments qui servent expressément à contrôler les effets en surface et les contraintes en profondeur qui résultent de l'exploitation souterraine. Ces appareils permettent d'observer la déformation des piliers, la répartition de la charge sur les supports des galeries des mines, les mouvements des strates au-dessus et au-dessous de la couche, la convergence toit-mur et l'affaissement de la surface.

Dans le cadre des études sur l'affaissement de la surface, des experts miniers tentent actuellement de découvrir ce qui se passe à la surface lorsque le charbon est extrait dans le sous-sol. Parmi les méthodes les plus avancées, mentionnons l'utilisation de la photogrammétrie, le recours à des appareils de mesure des distances par laser et ondes radio afin de détecter les très faibles mouvements de la surface malgré la présence d'une couverture de neige et les irrégularités des terrains montagneux. Il est possible d'utiliser cet équipement pour contrôler les mouvements en surface dans presque toutes les opérations minières.

Environnement des mines de charbon

L'environnement des mines de charbon souterraines expose les mineurs à un certain nombre de risques. Les explosions de méthane et de poussières de charbon surtout représentent une menace constante depuis que les êtres humains ont commencé à exploiter les filons de charbon souterrains. Le charbon peut également réagir avec l'oxygène dans l'air, produire de la chaleur et, finalement, amorcer une combustion.

Depuis le tout début, les êtres humains ont utilisé diverses méthodes, y compris leur odorat, pour détecter ce que les Anglo-Saxons appellent le « firestink », odeur caractéristique qui avertit les mineurs d'une production de chaleur souterraine et du danger d'une combustion spontanée. On a même fait appel à des canaris dans des mines de charbon pour déceler la présence de gaz toxiques. De nos jours, des appareils portatifs efficaces, tels que le méthanomètre, permettent de détecter facilement les émanations de méthane.

CANMET vient de convertir une visionneuse infrarouge utilisée à l'origine par les militaires pour détecter de la chaleur dans l'environnement. Comme ce petit instrument est également sensible à la chaleur du corps humain, il peut servir à repérer des mineurs blessés dans une mine où il fait sombre. Non seulement cette visionneuse compacte donne une image de la chaleur en temps réel, mais elle permet également d'enregistrer l'image sur film.

Les Laboratoires de recherche minière de CANMET ont également accompli des progrès importants, dans le cadre d'un projet financé conjointement par le gouvernement et l'industrie, vers la mise au point de méthodes permettant de signaler un danger de combustion spontanée et de détecter les concentrations de gaz dangereux. À Bells Corners et à Calgary, des scientifiques de CANMET ont mis au point un système qui permet simultanément d'échantillonner l'air et d'en analyser la teneur en oxyde de carbone à quatre endroits différents d'une mine. Le niveau d'oxyde de carbone indique le degré de danger d'une

combustion spontanée. Au moyen de tubes de polyéthylène que l'on introduit dans quatre galeries distinctes de la mine et qui sont reliés à un analyseur situé à la surface, on prélève des échantillons d'air tous les quarts d'heure. Grâce à ce système, on sait dès le début où et quand la chaleur commence à se former, ce qui permet aux mineurs de prendre des mesures correctives sans interrompre les opérations minières.

Ces tubes peuvent servir à analyser à la fois l'oxyde de carbone et le méthane mais, étant donné qu'il faut un certain temps au charbon pour atteindre son point d'allumage et produire une combustion spontanée, les dégagements rapides de méthane réclament une analyse et des mesures plus immédiates. Il faut chercher à réduire le laps de temps qui s'écoule entre l'instant où le méthane est détecté dans la mine et celui où s'effectue l'analyse en surface, et c'est pourquoi on envisage actuellement d'utiliser un système de télémétrie pour être averti plus tôt des concentrations élevées de méthane.

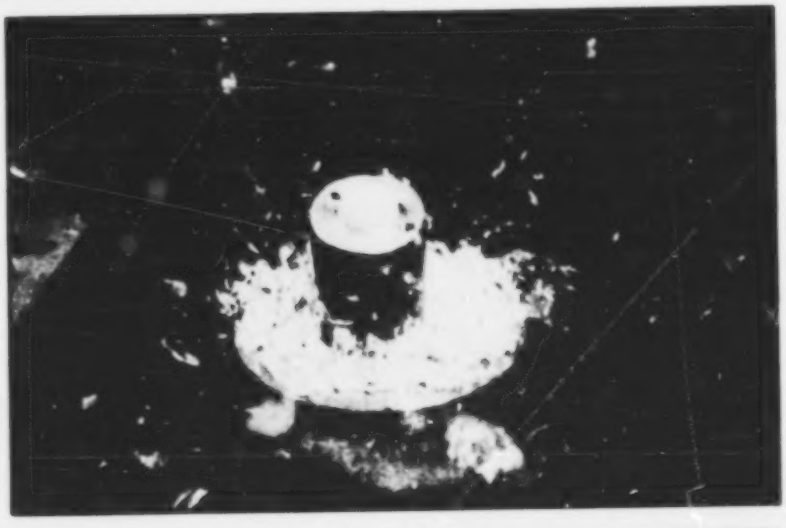
Comme nous l'avons souligné, certaines mines de charbon de la Nouvelle-Écosse se prolongent sous les fonds marins et, de ce fait, posent des problèmes de sécurité particuliers. Aussi a-t-on établi, à Sydney en 1981, le Laboratoire de recherche sur le charbon du Cap-Breton, qui a pour rôle d'étudier les risques d'explosion de méthane et de poussières de charbon, les dégagements de méthane, l'aérage des mines et la stabilité des roches dans l'environnement des mines du Cap-Breton. Ce Laboratoire pourra consulter les experts des principaux laboratoires de CANMET à Ottawa, ainsi que les autres laboratoires de recherche minière d'Elliot Lake et de Calgary.

Sûreté du matériel

La marque d'homologation d'EMR doit apparaître sur tout le matériel électrique et diesel utilisé dans des mines de charbon souterraines et sur certains matériaux employés dans toutes les mines souterraines. Cette marque atteste que le matériel ou le matériau a été éprouvé et homologué par le Laboratoire canadien des atmosphères explosives de CANMET.

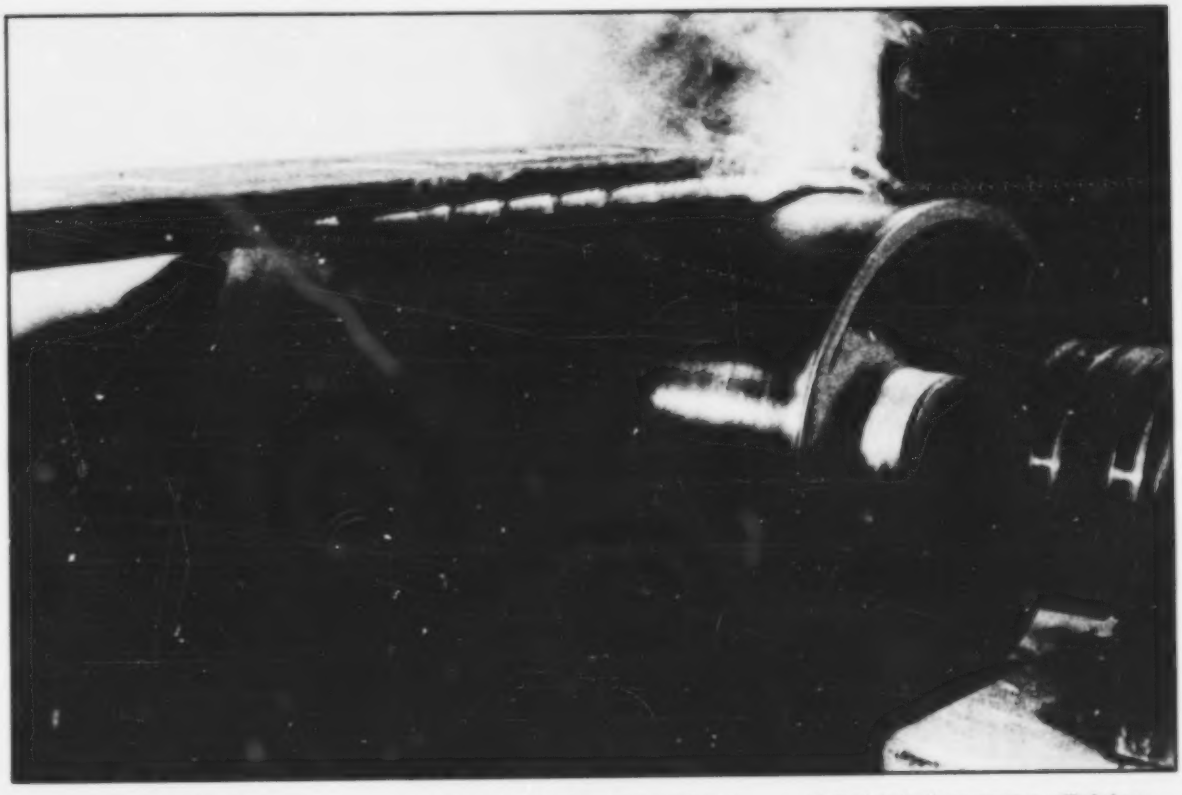
Les machines diesel, le matériel électrique et certains métaux peuvent engendrer une étincelle ou une chaleur suffisante pour provoquer une explosion. Outre qu'ils attestent que la température de fonctionnement de cet équipement se situe au-dessous du point d'allumage de la poussière de charbon et que l'appareil ne risque aucunement d'enflammer le méthane toujours présent, les essais effectués en laboratoire visent à s'assurer que les dispositifs souterrains tels que convoyeurs à bande, enveloppes de câble, canalisations d'air flexibles et fluides hydrauliques sont ininflammables et que le matériel diesel ne produit pas de flammes ou de gaz toxiques en fortes concentrations.

CANMET essaie actuellement de produire un véhicule à moteur diesel presque sans pollution, qui est équipé de plusieurs dispositifs de traitement tels qu'épurateurs à eau, filtres secs et dispositifs d'injection d'eau et de méthanol (voir Environnement, santé et sécurité).



Essai de résistance à l'impact du globe protecteur d'une lampe utilisée dans les mines.

Ce pupitre de commande du Laboratoire canadien des atmosphères explosives (LCAE) contrôle les essais, dans une atmosphère explosive de gaz et d'air, du matériel électrique destiné à des mines de charbon souterraines.



Cette bande de convoyeur utilisé dans les mines n'a pas résisté aux essais rigoureux que lui ont fait subir les techniciens du Laboratoire canadien des atmosphères explosives (LCAE).

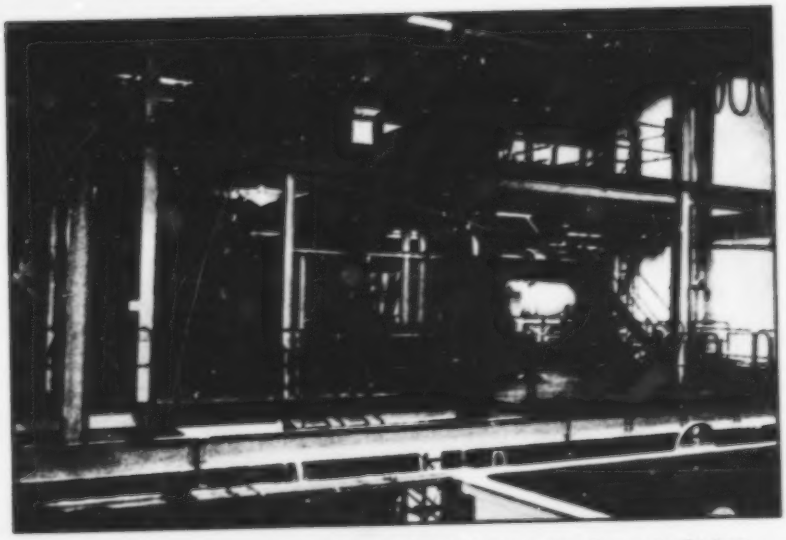
Préparation du charbon

Beaucoup de gens croient encore que le charbon est un matériau combustible qui est simplement extrait du sol, chargé dans un train et livré au consommateur. Or, presque toujours, le minerai doit subir un traitement minutieux, être libéré de ses impuretés, séché et réduit à des dimensions qui conviennent à l'acheteur. Compte tenu de la diversité des rangs et des qualités de charbon que l'on trouve au Canada, et étant donné que les charbons de l'Ouest canadien ont une origine géologique différente de celle de la plupart des autres charbons, leur préparation et leur utilisation posent beaucoup de difficultés.

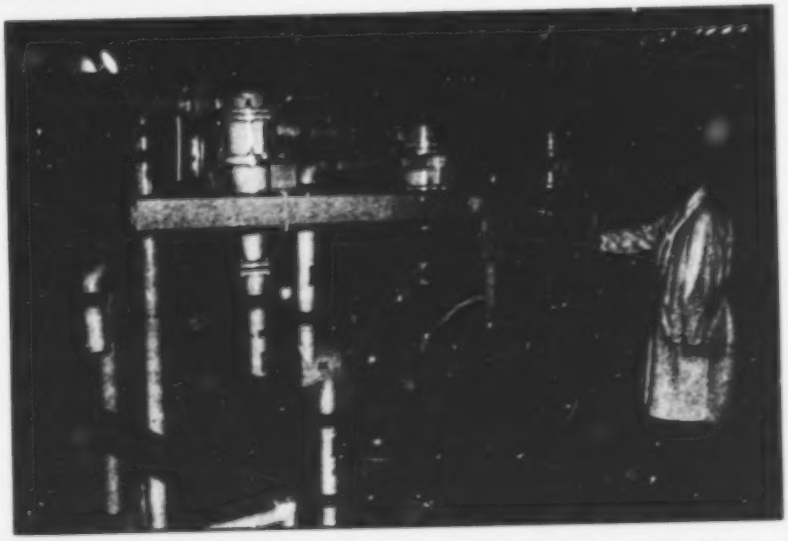
Le Laboratoire de recherche sur le charbon de CANMET, situé à Edmonton, est au service de l'industrie canadienne du charbon depuis plus de trois décennies, toujours en quête de méthodes nouvelles et plus efficaces pour préparer le charbon en vue de sa mise en marché. Outre qu'il prodigue des conseils sur des problèmes particuliers à telle ou telle usine, CANMET a conçu et mis au point beaucoup de techniques et de systèmes qui ont par la suite été adoptés par l'industrie du charbon.

La préparation du charbon fin a toujours posé des problèmes particuliers. Étant donné que le charbon des avant-monts et des monts de l'Ouest canadien contient environ deux fois plus de « fines » que les charbons produits dans la plupart des autres régions du monde, les travaux accomplis par CANMET dans le domaine de la préparation du charbon ont surtout visé à trouver ou à mettre au point les méthodes d'épuration les plus efficaces.

Les Laboratoires des sciences minérales à Ottawa effectuent des travaux connexes sur les charbons de l'Est canadien et font aussi de la recherche plus fondamentale ainsi que des analyses chimiques.



Usine pilote de préparation du charbon au Laboratoire de recherche sur le charbon (LRC) de CANMET, à Edmonton.



Plusieurs essoreuses ont été installées dans cette partie du circuit de lavage du charbon au Laboratoire de recherche sur le charbon (LRC), à Edmonton.

Les travaux sur les charbons fins ont vite amené la construction d'une usine pilote de nettoyage du charbon à Edmonton. Au fil des ans, cette usine s'est enrichie de nombreuses additions et améliorations, si bien qu'elle a maintenant la souplesse requise pour analyser les besoins en nettoyage des divers types de charbon à l'aide d'un large éventail de techniques et d'appareils. Aujourd'hui, l'usine est semi-automatisée, et l'utilisation de modèles d'ordinateurs pour améliorer les analyses progresse de façon satisfaisante.

Un certain nombre de systèmes ont été brevetés par suite de l'exploitation de l'usine pilote. L'exemple le plus notable est l'essoreuse à conicité variable qui a été mise au point à Edmonton et intégrée à l'usine pilote en 1961. L'usage de cet appareil est maintenant répandu au Canada et ailleurs. En particulier, on utilise cette essoreuse pour nettoyer des charbons fins qui sont partiellement oxydés; l'oxydation crée des problèmes et entraîne des pertes dans la flottation par moussage, la méthode que l'on utilise traditionnellement pour séparer les charbons très fins des matériaux résiduels. L'oxydation du charbon se produit dans des couches qui ont été mises en contact avec de l'air ou de l'eau souterraine oxygénée et cause des ennuis à de nombreux exploitants miniers de l'Ouest canadien.

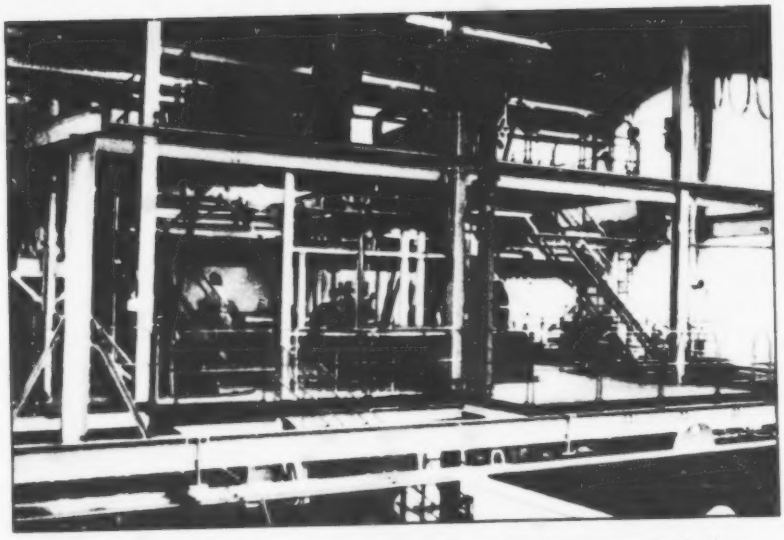
Les recherches de CANMET dans le domaine de la préparation du charbon comprennent aussi des études sur les façons d'améliorer le traitement de l'eau résiduelle produite par les usines de nettoyage du charbon. Elles visent à réduire la pollution et à recycler l'eau pour la réutiliser dans le processus de nettoyage du charbon. Pour rendre leurs études encore plus efficaces, des scientifiques du laboratoire d'Edmonton ont conçu et construit une usine pilote mobile qui peut être transportée sur les lieux de l'expérience et couplée à une installation de lavage commerciale pour analyser le procédé de traitement employé par l'entreprise et découvrir de nouvelles idées sans interrompre les activités de l'entreprise.

Recherches sur la fabrication du coke

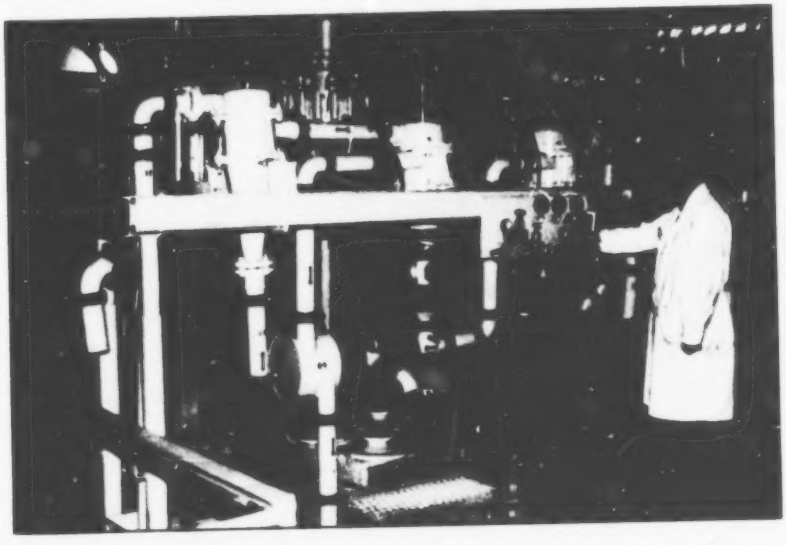
Le combustible qui alimente les hauts fourneaux et les fonderies de toutes les usines sidérurgiques du monde est le coke, qui s'obtient en chauffant du charbon métallurgique ou cokéfiable dans des fours à chambres horizontales pour en éliminer les composantes volatiles. On produit ainsi un solide dur et poreux qui est constitué en majeure partie de carbone. Dans les hauts fourneaux, le coke n'est pas seulement une source de chaleur; il réagit avec le concentré du minerai de fer à de très hautes températures pour former de la fonte en fusion, matière première de la sidérurgie.

Tant au Canada qu'à l'étranger, l'industrie a besoin de bons charbons cokéfiables, et CANMET expérimente constamment des façons de produire du meilleur coke à partir des charbons canadiens. Les quatre fours que CANMET utilise spécialement à cette fin, dont deux se trouvent à Ottawa et deux au Laboratoire de recherche sur le charbon à Edmonton, sont les seules installations du Canada qui rendent possible une analyse

Coke que l'on s'apprête à sortir de l'un des fours spéciaux dont CANMET se sert pour évaluer les propriétés de cokéfaction des charbons canadiens.



Usine pilote de préparation du charbon au Laboratoire de recherche sur le charbon (LRC) de CANMET, à Edmonton.



Plusieurs essoreuses ont été installées dans cette partie du circuit de lavage du charbon au Laboratoire de recherche sur le charbon (LRC), à Edmonton.

Les travaux sur les charbons fins ont vite amené la construction d'une usine pilote de nettoyage du charbon à Edmonton. Au fil des ans, cette usine s'est enrichie de nombreuses additions et améliorations, si bien qu'elle a maintenant la souplesse requise pour analyser les besoins en nettoyage des divers types de charbon à l'aide d'un large éventail de techniques et d'appareils. Aujourd'hui, l'usine est semi-automatisée, et l'utilisation de modèles d'ordinateurs pour améliorer les analyses progresse de façon satisfaisante.

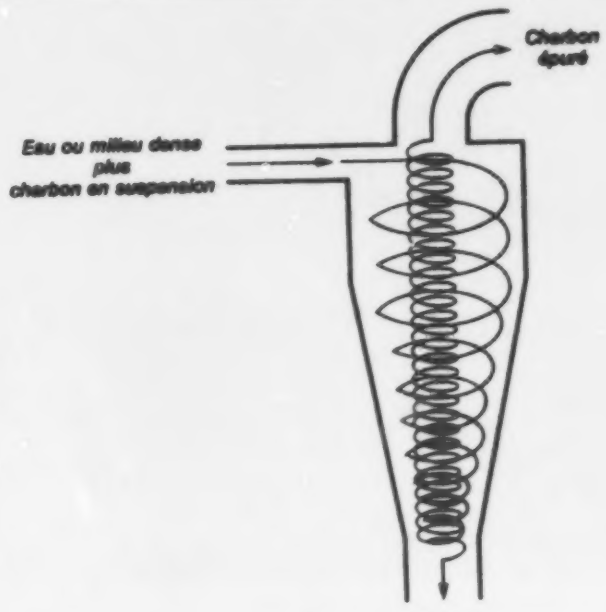
Un certain nombre de systèmes ont été brevetés par suite de l'exploitation de l'usine pilote. L'exemple le plus notable est l'essoreuse à conicité variable qui a été mise au point à Edmonton et intégrée à l'usine pilote en 1961. L'usage de cet appareil est maintenant répandu au Canada et ailleurs. En particulier, on utilise cette essoreuse pour nettoyer des charbons fins qui sont partiellement oxydés; l'oxydation crée des problèmes et entraîne des pertes dans la flottation par moussage, la méthode que l'on utilise traditionnellement pour séparer les charbons très fins des matériaux résiduels. L'oxydation du charbon se produit dans des couches qui ont été mises en contact avec de l'air ou de l'eau souterraine oxygénée et cause des ennuis à de nombreux exploitants miniers de l'Ouest canadien.

Les recherches de CANMET dans le domaine de la préparation du charbon comprennent aussi des études sur les façons d'améliorer le traitement de l'eau résiduelle produite par les usines de nettoyage du charbon. Elles visent à réduire la pollution et à recycler l'eau pour la réutiliser dans le processus de nettoyage du charbon. Pour rendre leurs études encore plus efficaces, des scientifiques du laboratoire d'Edmonton ont conçu et construit une usine pilote mobile qui peut être transportée sur les lieux de l'expérience et couplée à une installation de lavage commerciale pour analyser le procédé de traitement employé par l'entreprise et découvrir de nouvelles idées sans interrompre les activités de l'entreprise.

Essoreuse pour lavage du charbon

Une essoreuse est un appareil faisant partie d'un circuit de lavage du charbon. Elle consiste en une chambre dont la section supérieure, cylindrique, se prolonge en une section conique. Le charbon est admis, sous une pression appropriée, dans la chambre, et, sous l'effet de la force centrifuge, les fines de charbon et les particules résiduelles se séparent; le charbon, plus léger, est poussé par le tourbillon central vers la partie supérieure de l'appareil, tandis que les résidus, plus lourds, sont évacués par le bas en décrivant une spirale.

L'essoreuse à conicité variable de CANMET fonctionne uniquement à l'eau et doit son efficacité aux caractéristiques de sa conicité. Auparavant, les essoreuses étaient couramment utilisées pour laver des charbons moyens à fins, mais elles requéraient généralement un milieu plus dense que l'eau.

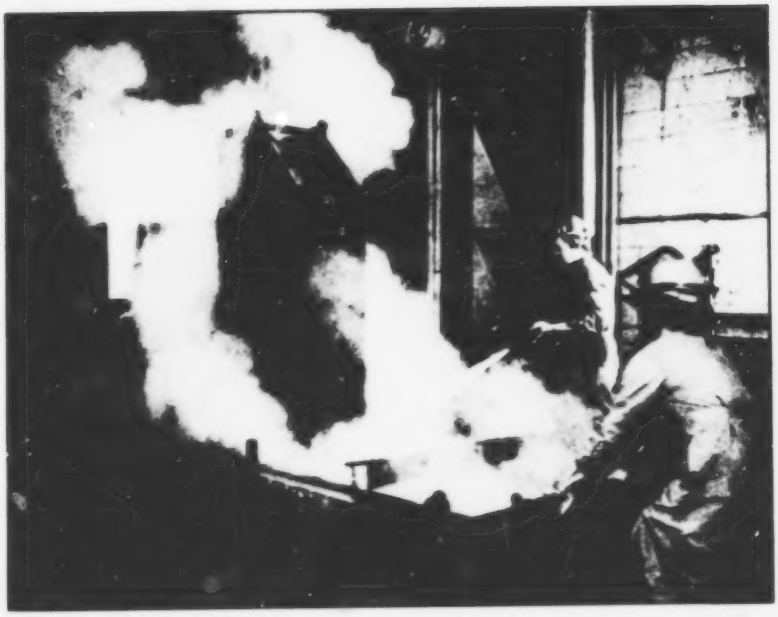


Recherches sur la fabrication du coke

Le combustible qui alimente les hauts fourneaux et les fonderies de toutes les usines sidérurgiques du monde est le coke, qui s'obtient en chauffant du charbon métallurgique ou cokéfiable dans des fours à chambres horizontales pour en éliminer les composantes volatiles. On produit ainsi un solide dur et poreux qui est constitué en majeure partie de carbone. Dans les hauts fourneaux, le coke n'est pas seulement une source de chaleur; il réagit avec le concentré du minerai de fer à de très hautes températures pour former de la fonte en fusion, matière première de la sidérurgie.

Tant au Canada qu'à l'étranger, l'industrie a besoin de bons charbons cokéfiables, et CANMET expérimente constamment des façons de produire du meilleur coke à partir des charbons canadiens. Les quatre fours que CANMET utilise spécialement à cette fin, dont deux se trouvent à Ottawa et deux au Laboratoire de recherche sur le charbon à Edmonton, sont les seules installations du Canada qui rendent possible une analyse

Coke que l'on s'apprête à sortir de l'un des fours spéciaux dont CANMET se sert pour évaluer les propriétés de cokéfaction des charbons canadiens



On examine des briquettes de charbon avant de les ajouter à une fournée de coke partiellement agglomérée.

Dès sa sortie du four, le coke est éteint par arrosage.

complète des charbons destinés à la fabrication du coke et comptent parmi les rares centres d'essai du continent offrant des possibilités aussi nombreuses. Les laboratoires de CANMET sur le charbon et la cokéfaction concentrent leurs travaux dans quatre domaines: évaluation des ressources, amélioration du procédé traditionnel de fabrication du coke, nouvelles méthodes de fabrication du coke et réductibilité du minerai de fer. Toutes les données obtenues sont informatisées et mémorisées dans une vaste banque de données.

La résistance est un des principaux facteurs de la qualité du coke, car celui-ci doit être suffisamment solide pour soutenir la charge qui lui est appliquée dans le haut fourneau. Cependant, le principal critère utilisé pour évaluer la qualité du coke est le *taux de coke*, qui est la quantité de coke nécessaire pour produire une tonne de fer. Étant donné que c'est ce matériau qui coûte le plus cher dans la fabrication de l'acier, les entreprises peuvent économiser des millions de dollars en réduisant le taux de coke. Plus le coke est de qualité, moins le haut fourneau en consomme.

Les meilleurs charbons cokéfiables s'obtiennent généralement en mélangeant plusieurs charbons de diverses caractéristiques. CANMET expérimente divers mélanges de charbons, mais étudie aussi des techniques nouvelles telles que le briquetage partiel, qui consiste à mélanger des briquettes à du charbon meuble dans le four à coke.

Pour accroître le rendement des fours à chambres horizontales et améliorer le taux de coke, CANMET a réalisé plusieurs projets de cokéfaction en collaboration avec des entreprises sidérurgiques et houillères canadiennes. Entre autres, il étudie la possibilité de préchauffer le charbon avant l'enfournement, le broyage sélectif des composantes du mélange et l'augmentation de la densité des charges des fours à coke.

Liquéfaction et gazéification du charbon

Dans ses applications thermiques, le charbon est surtout utilisé à l'état solide, mais on peut aussi le convertir sous d'autres formes par des procédés de liquéfaction et de gazéification.

La liquéfaction est le produit de la réaction du charbon avec de l'hydrogène sous l'effet de la chaleur et de la pression. Une fois la liquéfaction accomplie, on procède à une seconde phase au cours de laquelle on valorise le liquide issu du charbon pour produire une forme d'essence de haute qualité ou d'autres produits.

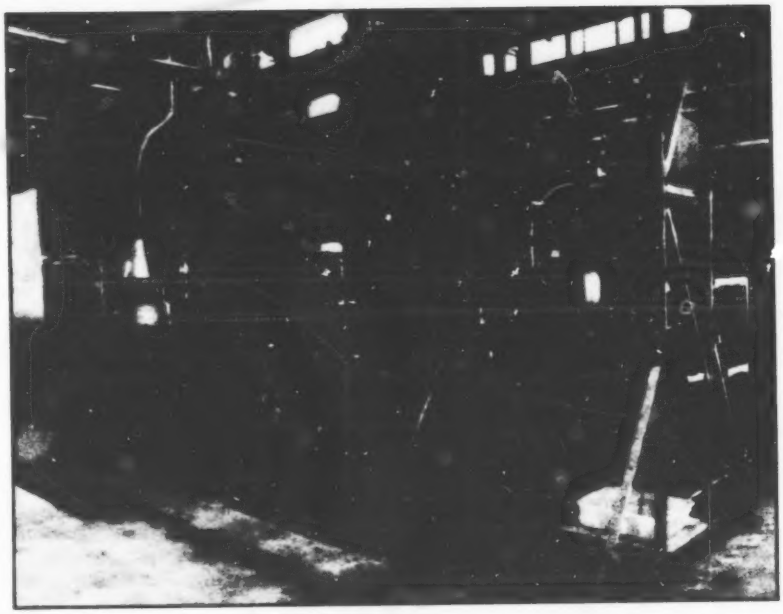
La gazéification résulte de la réaction du charbon avec de la vapeur, en présence d'oxygène. Après épuration, les gaz obtenus peuvent être utilisés tels quels ou encore servir pour synthétiser des combustibles liquides et des produits chimiques. La gazéification est généralement effectuée après que le charbon a été extrait, mais elle est également possible lorsque le charbon est encore dans le sol.

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, les Allemands ont eu recours à un procédé de liquéfaction directe du charbon pour produire de l'essence synthétique destinée à alimenter leurs avions. Depuis les années 50, l'Afrique du Sud, pauvre en pétrole mais riche en charbon, produit de l'essence synthétique et d'autres liquides et gaz à partir du charbon. L'Union soviétique a utilisé la gazéification du charbon dès les années 40 et, depuis quelque temps, cette technologie suscite de plus en plus d'intérêt à travers l'Europe.

Le Canada n'a pas accordé autant d'importance à la liquéfaction et à la gazéification du charbon car il possède des réserves d'hydrocarbures, en particulier du gaz naturel et des sables pétrolifères. Cependant, CANMET prévoit que ces nouvelles techniques seront peut-être nécessaires à long terme, et c'est pourquoi il procède à des travaux en ce sens. Son programme de recherches vise à accroître la compétence du Canada dans le domaine de la conversion du charbon en prévision d'une commercialisation possible de ces technologies. Certains projets sont financés entièrement par CANMET, d'autres en collaboration avec l'industrie. Les laboratoires de Bells Corners disposent d'un équipement expérimental qui rend possible l'étude de ces technologies. Les recherches expérimentales qui y sont effectuées servent également à étudier les propriétés des charbons canadiens, dont dépend le succès des opérations de conversion.

Parmi les études exécutées jusqu'ici, mentionnons l'évaluation technologique et économique de procédés de conversion, la liquéfaction de charbons de faible rang et l'évaluation de charbons destinés à la production d'électricité au moyen de techniques de pointe.

CANMET attache une grande importance à un projet de recherches préliminaires visant à mettre au point un procédé qui permettra de liquéfier du charbon et de valoriser des bitumes ou des huiles lourdes simultanément, en traitant le charbon en présence d'un solvant renfermant du bitume ou des huiles lourdes.



Installation de liquéfaction du charbon en continu, au Laboratoire de recherche énergétique (LRE), à Bells Corners.

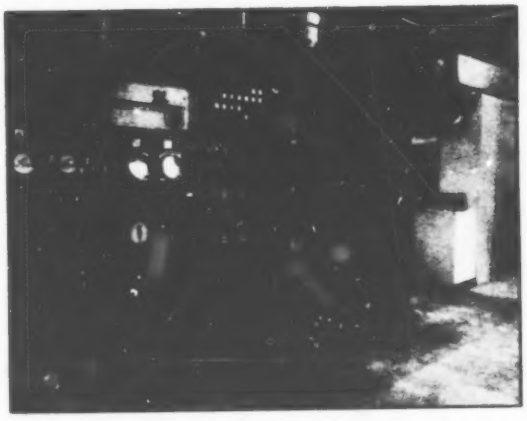


Tableau de commande de l'installation de liquéfaction du charbon au LRE.

CANMET a aussi en cours un certain nombre de projets de gazéification du charbon, notamment des études sur l'utilisation de charbons de faible rang et de déchets de charbon pour alimenter la production de gaz combustibles et de liquides synthétiques. Un des projets de CANMET dans ce domaine a pour but d'accroître le rendement de la conversion en électricité des charbons de faible qualité, comme le lignite de la Saskatchewan, au moyen d'un cycle combiné. Bien qu'il nécessite des mises de fonds considérables, le cycle combiné produit de l'électricité à des coûts modiques. Ce procédé fait appel à une turbine à vapeur, à une turbine à gaz ou aux deux.

Les principes fondamentaux des techniques de gazéification et de liquéfaction sont maintenant bien connus; le principal objectif des recherches actuelles de CANMET est d'améliorer la technologie de manière à tirer le maximum d'énergie d'une quantité de charbon donnée, sous forme gazeuse ou liquide, et à un coût acceptable.

Techniques classiques de combustion du charbon

Les mesures prises par le gouvernement canadien pour parvenir à l'autosuffisance pétrolière et à la sécurité énergétique ont incité les entreprises de service public et l'industrie du Canada à remplacer les combustibles liquides de haute qualité par des sources d'énergie indigènes, souvent par des charbons de faible qualité. En outre, les entreprises houillères canadiennes essaient par tous les moyens de s'assurer une partie raisonnable du marché, souvent en exploitant des charbons thermiques mis en valeur depuis peu, dont la qualité et le rendement sont peu connus. Par suite de ces activités, le gouvernement et l'industrie se sont associés dans un programme de recherches sur la combustion qui s'inscrit dans le cadre des travaux de CANMET sur la technologie énergétique.

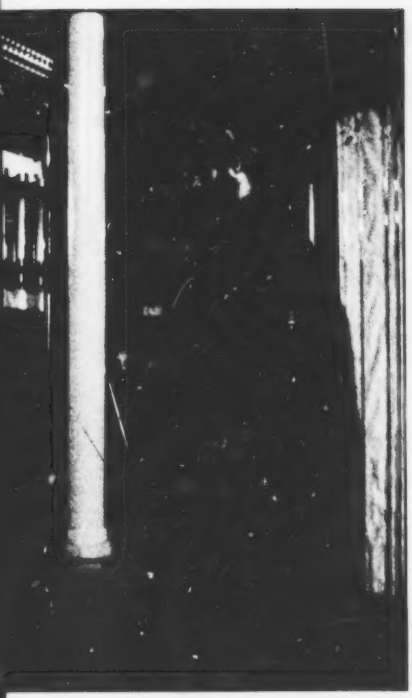
Voici les objectifs de ce programme:

1. Mettre au point ou améliorer des techniques permettant de remplacer le pétrole par du charbon pulvérisé ou des combustibles renouvelables dans certains procédés industriels.
2. Définir et optimiser le rendement de la combustion des charbons de faible qualité provenant de nouvelles mines ou de matériaux résiduels dans des systèmes de combustion alimentés au charbon pulvérisé.
3. Promouvoir la production de mélanges de charbon et de liquide et, si possible, leur utilisation comme source d'énergie dans des installations actuellement alimentées au pétrole et comme solution de rechange à la combustion directe du charbon dans d'autres appareils de combustion.
4. Améliorer le rendement de la consommation du mazout, en apportant des modifications au fonctionnement et à la conception des systèmes de combustion industriels.
5. Se tenir au courant des travaux de R-D qui se font dans le domaine de la combustion au Canada et à l'étranger et, si l'occasion se présente, participer à des projets mixtes de R-D qui répondent à des besoins canadiens.
6. Minimiser les effets environnementaux de l'utilisation accrue du charbon dans les systèmes de combustion de l'industrie et les entreprises de service public.

Combustion sur lit fluidisé

La combustion sur lit fluidisé est une autre technique de combustion du charbon qui soulève beaucoup d'intérêt dans le monde entier. Elle permet de brûler avec un meilleur rendement des combustibles de faible qualité tels que le charbon à haute teneur en soufre qui est extrait dans l'Est du Canada, tout en minimisant la pollution.

Dans l'appareil de combustion sur lit fluidisé, de l'air est injecté à travers un lit de charbon, de cendre, de sable et de calcaire et admis dans une chambre de combustion. À mesure que le charbon brûle, le mélange tourbillonne et bouillonne à la manière d'un fluide pendant que le calcaire absorbe le soufre, réduisant ainsi la pollution.



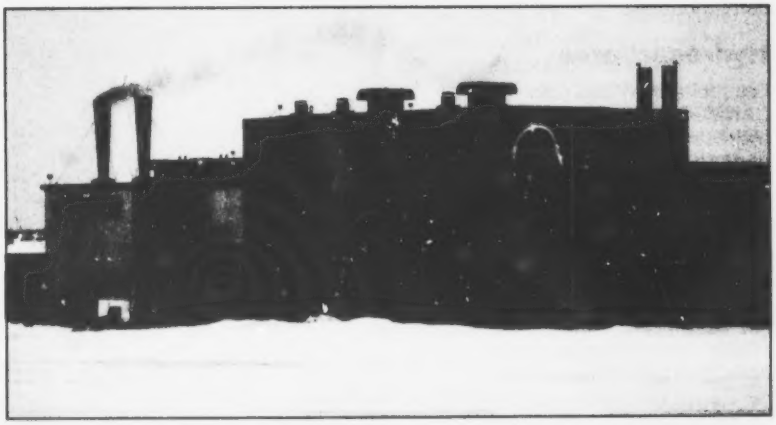
Appareil pilote de combustion sur lit fluidisé au Laboratoire de recherche sur la combustion et la carbonisation de CANMET. Le tourbillonnement du lit est visible à travers le hublot de l'appareil.

CANMET participe activement à plusieurs projets industriels qui se rapportent à cette technologie et au nombre desquels figurent la démonstration de la combustion sur lit fluidisé à la pression atmosphérique dans la chaufferie de la base militaire de Summerside (Île-du-Prince-Édouard) et l'exploitation d'une usine pilote à Point Tupper (Nouvelle-Écosse). En même temps, des recherches complémentaires sur la neutralisation du soufre et la dynamique de la combustion, de même que sur la mise au point d'aciers résistant à la chaleur se poursuivent dans les laboratoires de CANMET à Ottawa et dans une université canadienne.

Transport du charbon

L'énergie doit être transportée vers le consommateur. Dans le cas de l'électricité, on utilise des câbles de transmission, et dans celui du pétrole et du gaz naturel, on a recours à des pipelines s'étendant sur de grandes distances. Cependant, le transport du charbon par les moyens traditionnels, c'est-à-dire par train ou par camion, pose des problèmes particuliers.

C'est pourquoi l'idée de recourir à des pipelines dans lesquels le charbon est transporté en solution suscite beaucoup d'intérêt. On appelle « solution » un mélange constitué d'un solide insoluble et d'un liquide. Jusqu'à maintenant, CANMET a étudié des solutions charbon-eau, charbon-pétrole et charbon-méthane. Étant donné que les propriétés du charbon déterminent l'usage qui en est fait, CANMET se penche actuellement sur les effets du transport par pipeline sur ces propriétés. Il étudie également les difficultés que posent la préparation de la solution avant le transport et la séparation des éléments de la solution une fois qu'ils sont rendus à destination. En outre, les métallurgistes de CANMET s'emploient à résoudre un autre problème inhérent au transport de solutions: les effets abrasifs et corrosifs de la solution sur l'acier des pipelines.



La nouvelle chaufferie de la base militaire de Summerside, à l'Île-du-Prince-Édouard; il s'agit de la première démonstration de la combustion sur lit fluidisé en son genre au Canada.

Emploi de la tourbe comme combustible

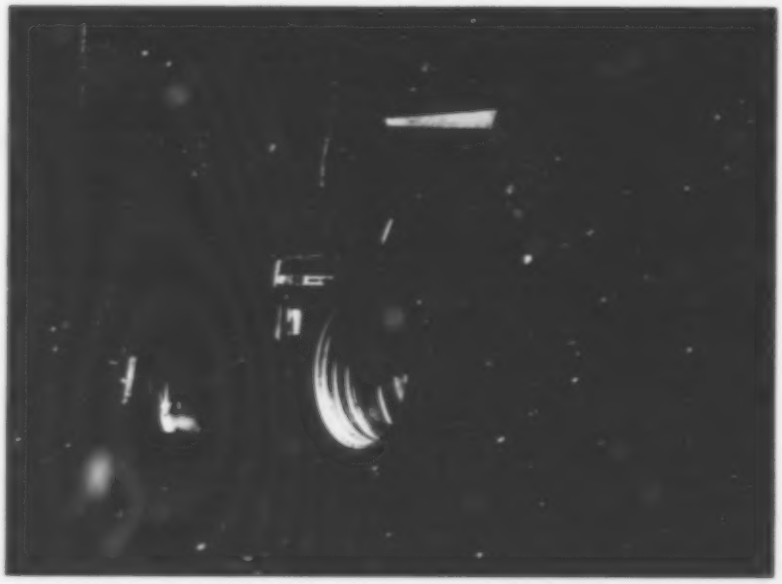
La tourbe, dont provient le charbon, est utilisée comme combustible depuis des centaines d'années à plusieurs endroits dans le monde. Le Canada en possède de vastes gisements, jusqu'à 30 % des approvisionnements mondiaux, mais il en a peu utilisé jusqu'ici étant donné qu'il disposait de sources d'énergie moins coûteuses. Cependant, depuis quelques années, l'épuisement des réserves de pétrole suscite au Canada un regain d'intérêt pour cette ressource.

CANMET confie à l'entreprise un certain nombre d'études sur la tourbe. L'une d'entre elles, qui porte sur les possibilités techniques et économiques de la construction d'une centrale alimentée à la tourbe au Nouveau-Brunswick, a produit des résultats prometteurs et suscité beaucoup d'intérêt dans la région. Dans le cadre d'un autre contrat, une entreprise étudie le problème de la déshydratation de la tourbe, qui constitue depuis longtemps un obstacle majeur à l'expansion de cette industrie.

Hydrocarbures

Les recherches que poursuit CANMET dans le domaine des hydrocarbures visent en majeure partie à exploiter les immenses ressources en sables pétrolifères et en pétrole lourd de l'Ouest canadien. Ses gisements de bitume et de pétrole lourd comptent parmi les plus grandes concentrations de combustibles fossiles dans le monde, mais la valorisation de ces ressources de manière à ce qu'elles puissent servir à alimenter des raffineries de pétrole suscitent de nombreuses difficultés.

Or voici qu'après de nombreuses années de recherches, CANMET a mis au point un nouveau procédé de valorisation qui sera vraisemblablement commercialisé d'ici à 1985.



Récolte de la tourbe.

Procédé d'hydrocraquage de CANMET

Les bitumes ou pétroles lourds types renferment environ 50 % de brai, ainsi que de nombreux éléments tels que le soufre, l'azote, le nickel et le vanadium, qui rendraient difficile leur traitement dans une raffinerie classique. Il est donc très nécessaire d'en réduire la teneur en brai, en soufre et en métaux si l'on veut les rendre aptes à subir ce genre de traitement.

Actuellement, les exploitations commerciales utilisent des méthodes basées sur le carbone résiduel, comme la cokéfaction différée et le « Fluid Coking », pour valoriser le bitume. Elles obtiennent ainsi, comme sous-produit, de grandes quantités de coke résiduel qui s'accumulent. Par contre, la méthode proposée par CANMET consiste à ajouter de l'hydrogène, ce qui permet de produire de 10 à 12 % de plus de distillats en éliminant le coke résiduel.

Dans le procédé de CANMET, la charge d'alimentation est mélangée à un catalyseur peu coûteux et qui ne sert qu'une fois et à de l'hydrogène sous pression; le mélange est pompé dans un long réacteur tubulaire où l'hydrocraquage s'opère à de hautes températures. La fraction brai à haut point d'ébullition est convertie en distillats plus légers que l'on peut traiter facilement pour produire du brut synthétique.

À la suite d'une étude impartiale qui a démontré que les coûts d'exploitation du procédé de CANMET se comparaient favorablement à ceux des autres techniques utilisées sur le marché, la PEX (Petro-Canada Exploration Inc.) a obtenu les droits d'exploitation du procédé. Aux termes de l'accord qui la lie à EMR, la PEX doit mettre en place une installation de démonstration, concevoir une usine à échelle commerciale et établir un mécanisme complet de commercialisation et d'octroi de licences, de façon que la méthode puisse être implantée dans toute l'industrie pétrolière. On construit actuellement à Montréal une unité de démonstration de 795 m^3/jour dont l'achèvement est prévu pour 1985.

Le procédé de CANMET fait appel à un additif peu coûteux. D'ailleurs, les chercheurs essaient constamment de trouver des catalyseurs plus efficaces et moins onéreux. Ils espèrent également pouvoir adapter le procédé à la transformation du charbon et même de la biomasse en combustibles liquides.

Au moyen d'une sonde, cet homme mesure le rayonnement thermique émis dans le four-tunnel du Laboratoire canadien de recherche sur la combustion et la carbonisation (LRCC). Ce four sert à mettre au point des méthodes de combustion capables de réduire à un minimum la quantité de matières polluantes produites.

Un technicien observe le panneau de commande de l'usine pilote d'hydrocraquage de CANMET.

L'alimentation de l'usine d'hydrocraquage.

Recherches sur la combustion

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources consacre une bonne partie de ses recherches dans le domaine de l'énergie aux économies de combustibles et à l'amélioration du rendement des combustibles. Ce travail est confié en majeure partie au Laboratoire de recherche sur la combustion et la carbonisation (LRCC) de CANMET à Bells Corners, qui effectue lui-même les recherches ou fait appel à des sous-traitants.

Chauffage des maisons

Devant l'épuisement des réserves pétrolières du Canada et la hausse du prix du pétrole, des chercheurs du LRCC ont élaboré une procédure qui augmente l'efficacité de l'appareil de chauffage au mazout. Cette procédure peut être appliquée aux calorifères au mazout actuellement en usage et comprend:

- l'installation du plus petit gicleur pouvant être adapté au calorifère;
- le remplacement du bec du brûleur par un bec à rétention de flamme; et
- l'installation d'une valve soléncide à retardement qui réduit l'accumulation de suie.

Mais le LRCC ne fait pas que de la recherche en laboratoire; il se rend aussi sur le terrain pour effectuer des essais pratiques. Ainsi, il a installé des dispositifs expérimentaux dans un certain nombre de maisons d'Ottawa en les reliant à des instruments de contrôle, et a observé les résultats en hiver. On a combiné la procédure d'amélioration du rendement, l'amélioration de l'isolation et la baisse du thermostat la nuit, et les chiffres obtenus ont confirmé les résultats des essais en laboratoire. D'après les scientifiques, ces mesures peuvent réduire la consommation de mazout de plus de 20 % et diminuer du même coup les émissions indésirables.

Les appareils de chauffage au gaz communément utilisés ont eux aussi de faibles rendements. C'est pourquoi CANMET poursuit un important programme de recherches sur les caloriféres à gaz domestiques, afin de mettre au point quelques-unes des technologies nouvelles les plus prometteuses et d'en déterminer le rendement, autant en laboratoire, dans des conditions contrôlées, que sur le terrain, dans des maisons expérimentales bien équipées et dans des conditions réelles.

Ce calorifère au mazout résidentiel a été installé dans le Laboratoire de recherche sur l'énergie et couplé à des analyseurs de gaz fonctionnant en continu qui serviront à mesurer le rendement, les émissions et la qualité du combustible utilisé.

Des recherches sur le rendement des calorifères ont également été effectuées dans plusieurs maisons de la région d'Ottawa.

Ces études visent également à élaborer une méthode d'essai qui permettrait de mesurer le rendement saisonnier des caloriféres à gaz en vue de l'étiquetage énergétique.

Étant donné que beaucoup de foyers ont récemment été équipés de caloriféres à gaz, le LRCC travaille à mettre au point des dispositifs susceptibles d'accroître le rendement de ces caloriféres jusqu'à un niveau très élevé. Un important fabricant de caloriféres a produit, dans le cadre d'un contrat, un dispositif économiseur à condensation; on procède actuellement à des essais sur le terrain. D'autres chercheurs travaillent à la mise au point d'un dispositif économiseur à tirant induit, qui permettra de réaliser des économies de combustibles appréciables à un coût relativement faible.

D'autres entreprises engagées par CANMET tentent de trouver de nouvelles idées pour atteindre de hauts rendements énergétiques à un coût modique; jusqu'ici, les résultats sont très prometteurs. Ainsi, en couplant un échangeur de chaleur à contre-courant en matière plastique à un calorifère classique, on a obtenu un appareil à condensation dont le rendement est de l'ordre de 95 %.

Dans tous ces domaines de recherche, la commodité est une considération de premier ordre. CANMET s'efforce constamment de faire en sorte que l'industrie soit mise au courant de tous les progrès réalisés et que les produits soient mis sur le marché le plus rapidement possible. Les techniques à l'étude pourront être appliquées aussi bien aux nouveaux caloriféres qu'aux appareils déjà en place et devraient permettre de réaliser des économies de combustibles de l'ordre de 15 à 40 %, selon la technologie utilisée.

En raison de l'intérêt croissant du public pour les appareils de chauffage au bois et l'absence de normes gouvernant la conception, la fabrication et l'installation de ces appareils, CANMET s'emploie à élaborer une norme combinée tenant compte de l'efficacité et de la pollution pour déterminer le rendement. Cette norme permettra aux fabricants et aux organismes de normalisation de mettre au point des poêles à bois

plus efficaces et plus sûrs. CANMET met également au point des appareils de combustion avancés qui se caractériseront par une sûreté et un rendement accrus.

Rendement des moteurs d'automobiles

CANMET a commandé une étude sur la consommation de carburant des automobiles sous le climat canadien. À la fin de l'expérience, le rendement de quatre moteurs utilisant une technologie avancée avait moins diminué en fonction de la baisse de la température, tant du point de vue de la consommation de carburant que des émissions polluantes, que le rendement d'un moteur classique équipé d'un convertisseur catalytique. Voici l'essentiel des résultats obtenus.

- La consommation augmente lorsque les températures atmosphériques baissent. Voilà une des raisons pour lesquelles les automobilistes canadiens ont constaté qu'ils devaient faire le plein plus souvent en hiver et que la consommation de leurs véhicules était souvent supérieure aux chiffres annoncés par le fabricant.
- Les moteurs diesel, à charge stratifiée, à mélange pauvre et turbo ont un rendement qui diminue beaucoup moins que les moteurs à carburateur classique équipés d'un convertisseur catalytique. Si l'on tient compte de l'ensemble des températures sous lesquelles les essais ont eu lieu, le moteur diesel à haute vitesse a réalisé la meilleure performance.

CANMET poursuit également un programme conjointement avec l'industrie, afin de déterminer le besoin en octane des automobiles utilisées au Canada; il veut ainsi éliminer le gaspillage d'énergie dans les raffineries et éviter que le pétrole brut ne soit utilisé pour produire des indices d'octane inutilement élevés.

Énergie nucléaire et électricité

Beaucoup de spécialistes prévoient que l'uranium sera le combustible de l'avenir. Le Canada se classe au deuxième rang, après les États-Unis, en ce qui a trait à la production mondiale d'uranium et vient en quatrième lieu, derrière l'Australie, l'Afrique du Sud et les États-Unis, en ce qui concerne les réserves et les ressources. En 1981, la production d'uranium canadien s'établissait à près de 7 800 tonnes métriques. D'après des estimations, la production intérieure pourrait augmenter à 15 500 tonnes en 1990.

À l'aide de diverses expériences, on mesure la consommation d'énergie et les émissions polluantes de moteurs d'automobiles.

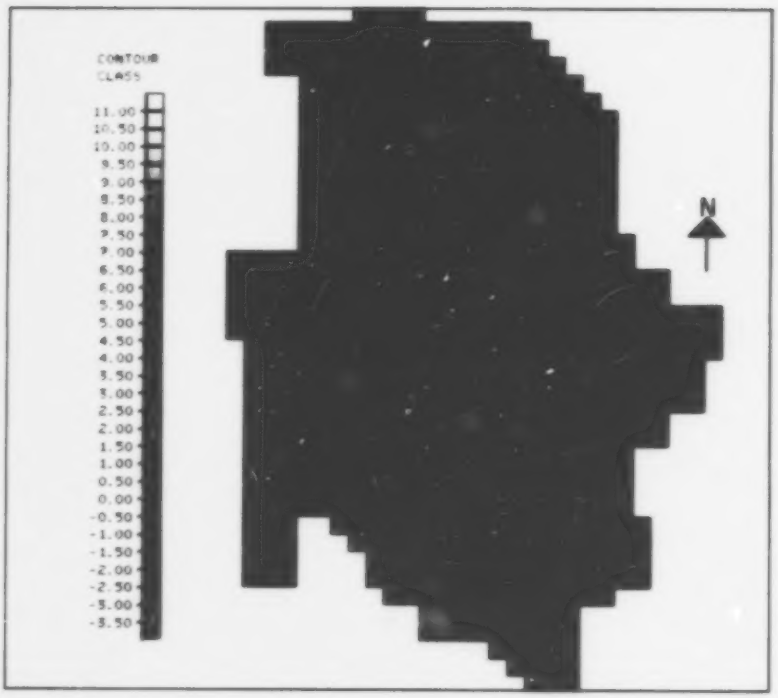
La politique de l'uranium et le GERU

En 1974, le ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources annonçait une nouvelle politique de l'uranium qui assurait à tous les réacteurs en place et à ceux dont la mise en service était prévue des réserves de combustible nucléaire pour 30 ans. Un autre objectif de cette politique était de faire en sorte que la capacité de production d'uranium soit suffisante pour réaliser la totalité du programme canadien d'énergie nucléaire.

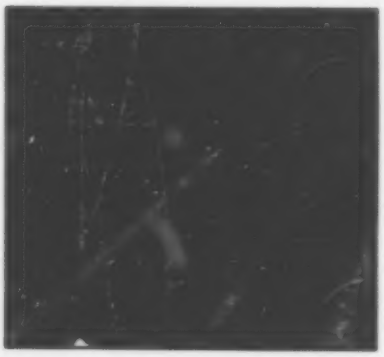
Afin d'appliquer cette politique, le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a créé un comité appelé Groupe d'évaluation des ressources en uranium (GERU) et lui a confié le mandat d'évaluer annuellement les ressources canadiennes en uranium. Plusieurs employés de CANMET siègent à ce comité; ils évaluent les réserves et les ressources en uranium canadien, ainsi que la capacité de production des usines actuelles et futures.

Afin d'établir la base des réserves d'uranium, on demande aux sociétés minières de déclarer leurs réserves annuelles. Des représentants du comité se rendent aux usines et aux bureaux des entreprises, afin d'obtenir des renseignements et d'évaluer les rapports présentés. Le GERU fait une estimation des besoins en uranium connus de toutes les centrales nucléaires canadiennes pour les 30 prochaines années. Ensuite, en appliquant le pourcentage d'uranium requis aux réserves de chacune des entreprises, il calcule le quota que chaque producteur doit réserver à la consommation intérieure. C'est sur ces chiffres que se basent les organismes de réglementation pour autoriser les exportations d'uranium.

Les sociétés minières sont également tenues de soumettre toutes les informations et cartes préliminaires relatives aux forages; ces données sont ensuite codées et informatisées. Le GERU se fonde sur les données de l'ordinateur pour calculer séparément les réserves et ressources de chaque gisement visé.



Cette carte produite au moyen d'un ordinateur est un outil précieux pour évaluer les ressources minérales; elle montre les diverses teneurs contenues dans un gisement, tout comme les lignes isohypses (courbes de niveau) indiquent les variations du relief sur une carte topographique.



Dans la dernière phase de la concentration du minerai d'uranium, le « gâteau jaune » est séché sur un filtre à tambour.

Le comité se charge également d'étudier de nouveaux gisements pour déterminer s'ils sont économiquement viables avant de les ajouter aux réserves nationales. D'après tous les renseignements qu'il a recueillis au sujet des mines en place et des réserves additionnelles reconnues, il effectue une projection de la capacité de production du pays.

Extraction de l'uranium

Les scientifiques de CANMET mettent à profit la compétence qu'ils ont acquise dans le domaine du traitement des minerais et des minéraux pour améliorer l'extraction de l'uranium. Dans ce domaine, leurs travaux visent à permettre d'extraire du minerai le plus d'uranium possible et, en plus, des sous-produits tels que le thorium, les terres rares et l'yttrium, tout en minimisant les coûts de traitement et les effets environnementaux.

Les minerais ne renferment habituellement qu'un ou deux kilogrammes d'uranium par tonne, bien que des spécimens beaucoup plus riches aient récemment été découverts en Saskatchewan. Peu importe la teneur, la technique de récupération est la même. Le minerai est d'abord concassé et broyé jusqu'à l'obtention d'un grain fin. Puis, on le soumet à un traitement de lixiviation dans un bain d'acide sulfurique puissant, afin de dissoudre l'uranium. On purifie la solution uranifère et on obtient un précipité chimique appelé « gâteau jaune », qui renferme environ 70 % d'uranium. Le gâteau jaune est ensuite expédié à une affinerie d'uranium, comme l'installation de l'Eldorado Nucléaire Limitée, où il est transformé en produits combustibles.

Grâce à des études poussées en laboratoire, dans des installations expérimentales telles les mini-usines de traitement continu spécialement conçues à cette fin, des chercheurs de CANMET ont pu examiner à loisir un grand nombre de minerais d'uranium canadiens. Leur travail consiste à déterminer les propriétés chimiques et minéralogiques uniques des minerais et à créer ou à améliorer des techniques de récupération.

Déjà, on a expérimenté à l'échelle industrielle l'utilisation d'une bactérie pour améliorer l'extraction de l'uranium et on a eu recours à diverses autres techniques de lixiviation qui emploient des bains de nitrate et de chlorure, des pressions élevées et des produits chimiques oxydants.

CANMET s'emploie également à comprendre, à améliorer et à mettre en œuvre des procédés qui constituent autant de phases dans l'extraction de l'uranium, notamment la préparation des minéraux, la filtration, l'extraction par solvant, l'échange d'ions, la précipitation et le traitement des résidus.

Stockage des déchets nucléaires

La construction de réacteurs nucléaires pour produire de l'électricité a engendré le problème du stockage des combustibles usés des réacteurs, dont la période radioactive peut se compter en milliers d'années. CANMET, de concert avec d'autres organisations d'EMR, la Commission géologique du Canada et la Direction de la physique du globe, s'est associé à l'Énergie Atomique du Canada, Limitée dans ce qu'il est convenu d'appeler le programme de gestion des déchets du cycle du combustible.

On étudie notamment la possibilité d'enfouir le combustible usé dans des formations géologiques profondes, sismiquement stables, sèches et imperméables, dans le Bouclier canadien. Le rôle de CANMET est de classer les sites d'enfouissement proposés d'après les propriétés mécaniques et thermiques des roches et de contribuer à l'aménagement du « cimetière » en effectuant des essais de simulation de chaleur in situ. Comme le combustible usé continue de produire de la chaleur même après l'enfouissement, CANMET procède à des essais sur place pour étudier les effets de la chaleur sur la roche dont la formation géologique est constituée.

Un site d'enfouissement de ce genre pourrait ressembler à une mine dans laquelle on aurait foré des puits verticaux jusqu'à une profondeur de travail de 1 000 mètres. Dans le plan horizontal, on pourrait creuser une artère centrale d'où partirait une rangée de tunnels. Dans les planchers de ces tunnels, on creuserait des voûtes à l'intérieur desquelles on déposerait, après les avoir bien enrobées, les barres de combustibles usés. Une fois les chambres remplies, la mine entière serait remblayée et scellée et s'intégrerait à la croûte supérieure de la Terre.

Céramiques électriques

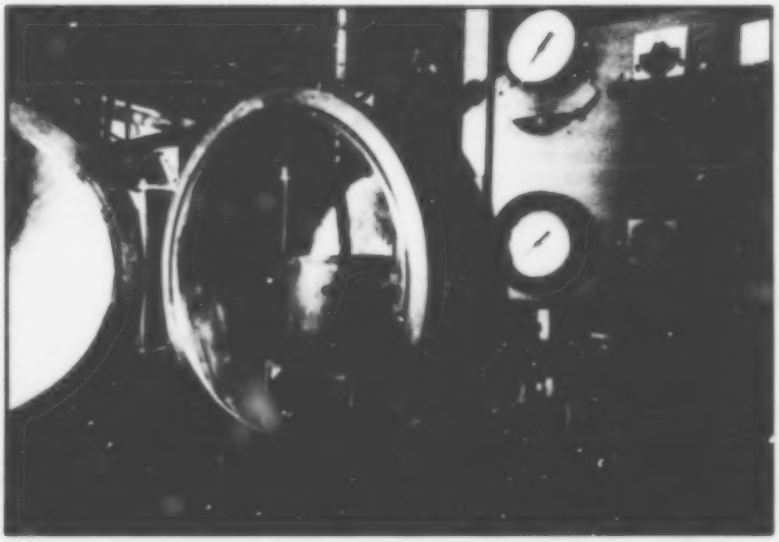
Devant l'épuisement et le renchérissement des approvisionnements pétroliers, la recherche d'équipements énergétiques nouveaux s'est intensifiée. Déjà, des véhicules mûs par l'électricité sont en service dans des usines industrielles et des mines, mais leur faible autonomie en interdit l'emploi sur la route.

CANMET met actuellement au point, par des recherches intra-muros et extra-muros, des céramiques électriques appelées « électrolytes à état solide », « superioniques » ou « conducteurs ioniques ». Pour autant que l'on sache, il existe une quarantaine de matériaux qui sont des conducteurs ioniques, le plus connu étant le bioxyde de zirconium que l'on emploie depuis plusieurs années dans les fours électriques à hautes températures. Les céramiques électriques peuvent avoir de nombreuses applications, même s'il reste encore beaucoup de recherches à faire avant que cette catégorie de matériaux relativement nouvelle ne fasse son apparition dans les piles à combustible et les accumulateurs, ce qui arrivera vraisemblablement après 1990.

Jusqu'à maintenant, CANMET a concentré ses efforts sur les zirconias, les hollandites et l'alliage oxyde d'aluminium-sodium. On vise à fabriquer à l'aide d'un de ces matériaux une batterie d'automobile de longue durée et dont le coût soit acceptable.

Outre leur utilité dans le domaine du transport, les superioniques auront un large éventail d'applications, tant dans les petits instruments et détecteurs que dans les grands réseaux d'électricité. Entre autres, ils seront employés dans le générateur magnétohydrodynamique (MHD), dans lequel le bioxyde de zirconium servira d'électrode à haute température. Ce type de générateur a l'avantage de fournir un rendement élevé par rapport à la centrale thermique classique. Dans le cadre d'un programme canadien dont la mise en œuvre a été confiée à une société privée, on emploie de l'hydrogène et de l'oxygène produits par l'électrolyse de l'eau, électrolyse alimentée par la puissance excédentaire des génératrices de base. Utilisée dans les réacteurs CANDU, cette méthode permettrait d'emmagasiner de l'énergie excédentaire en vue d'une utilisation ultérieure.

La fabrication d'un certain nombre de conducteurs ioniques et, par la suite, la mise au point d'électrodes à solution solide ouvriront la voie à de nouvelles générations de sources d'énergie et d'accumulateurs, comme les piles à combustible et les premières batteries à l'état solide.



Dans leurs recherches sur les piles à combustible, les scientifiques de CANMET utilisent cette presse à chaud pour fabriquer des éprouvettes en céramique.

La recherche minérale à CANMET

En ce qui concerne la technologie des minéraux, les travaux de CANMET se subdivisent en trois catégories, soit l'extraction, le traitement et l'utilisation. Cela reflète le fait que le programme de recherche s'étend à toute la gamme des activités reliées aux ressources minérales au Canada, à partir des recherches au fond des mines jusqu'aux recherches sur la fabrication de produits métalliques finis et d'autres produits minéraux.

Le programme de recherche minérale comprend aussi les études sur l'évaluation des ressources, afin d'assurer une bonne connaissance et une bonne utilisation des minéraux du pays. Toujours dans le cadre de ses responsabilités, CANMET met à l'essai, en vertu de la *Loi sur les explosifs au Canada* et en vue d'assurer la sécurité du public, toutes les matières explosives fabriquées au Canada ou importées.

Évaluation des ressources minérales

Les scientifiques de CANMET effectuent des études minéralogiques et géochimiques ainsi que des études connexes pour déterminer et évaluer l'importance, la qualité et le potentiel de récupération, dans des conditions économiques, des ressources minérales du Canada. De plus, des échantillons de minerai provenant de nouveaux gisements ou de gisements non encore mis en valeur sont soumis à des essais de traitement dans les laboratoires de CANMET. Ces examens sont effectués pour constituer une base d'information sur des ressources minérales canadiennes aux fins de recherches, pour la mise en valeur des ressources et pour la formulation de politiques et de programmes adéquats. Parmi les minéraux actuellement à l'étude figurent des minerais sulfurés complexes, les minéraux de la mine de platine et d'autres métaux précieux ou rares.

Il existe de vastes gisements de minerais sulfurés au Nouveau-Brunswick, en Ontario et au Yukon. Au Nouveau-Brunswick, 31 sites ont été examinés et classés comme sources de métaux de base. Des études sont effectuées sur le comportement des minéraux pendant la flottation et le broyage, et les métaux qui pourraient être éventuellement récupérés font l'objet d'une interprétation. Des études minéralogiques sur le gisement Caribou au Nouveau-Brunswick ont été achevées, ce qui facilitera la planification rationnelle de l'exploitation de cette ressource.

Les métaux de la mine de platine servent de catalyseurs dans les industries chimiques. Au total, 15 minéraux de ce groupe ont été découverts parmi d'autres minéraux dans le bassin de Sudbury, où la présence de seulement trois d'entre eux était déjà établie. Les principaux métaux de la mine de platine sont le platine, le palladium, le rhodium, le ruthénium, l'iridium et l'osmium.

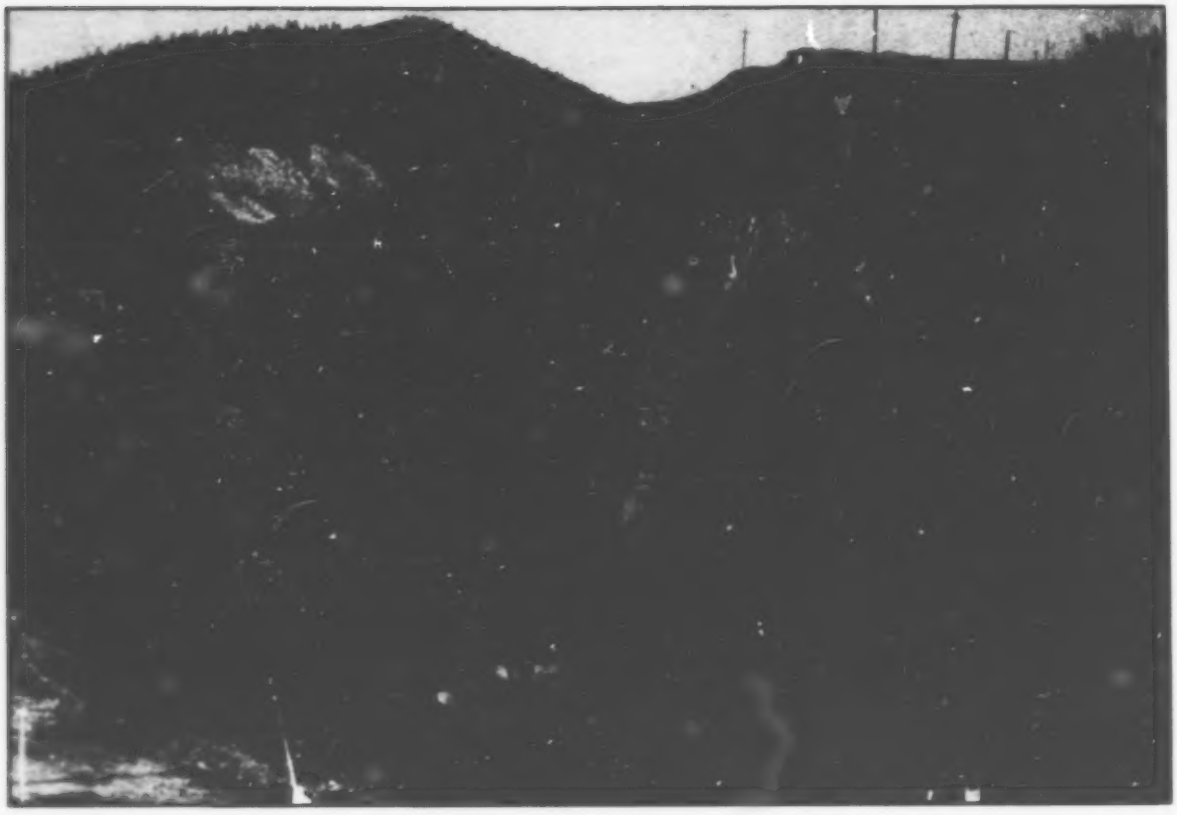
Technologie minière

Exploitation minière en surface

Plus de la moitié des mines du Canada sont des mines en surface ou mines à ciel ouvert, qui produisent la totalité presque du minerai de fer et de l'amiante du pays, ainsi que des quantités substantielles de charbon et de minerais de plomb, de zinc et de cuivre extraits de la terre.

En collaboration avec l'industrie minière, d'autres organismes fédéraux, des ingénieurs-conseils et des universités, CANMET a mis en œuvre un projet quinquennal pour améliorer la conception de mines à ciel ouvert dans les conditions canadiennes, et le document résultant constitue un manuel de dix volumes connu sous le nom de *The Pit Slope Manual*, aussi disponible sous forme audio-visuelle.

Le guide est révisé et mis à jour au besoin. Il porte notamment sur les propriétés mécaniques des roches et des sols, sur les problèmes des eaux souterraines, le calcul des pentes, le sautage périmétrique, la surveillance par instruments, les remblais de déchets et la planification de l'environnement, qui comprend la remise en état des zones où ont été effectués des travaux.



Des camions diesels-électriques transportent le charbon extrait de cette mine à ciel ouvert en Alberta.

L'angle des pentes des exploitations minières en surface revêt beaucoup d'importance parce qu'il détermine la quantité de stériles qu'il faudra déplacer pour obtenir le minerai. Ce facteur a un effet direct sur la rentabilité des mines. Par exemple, pour une grande exploitation profonde à ciel ouvert, le fait de réduire d'un degré seulement l'angle de la pente peut diminuer d'environ 20 millions de tonnes la quantité de stériles qui sera déplacée au cours de la durée utile de la mine, et permettre par conséquent de réaliser des économies atteignant 10 millions de dollars.

Exploitations souterraines

L'extraction souterraine, largement répandue, sert à récupérer des métaux de base comme le nickel, le cuivre, le zinc et le plomb ainsi que le charbon, la potasse, l'uranium, l'or et l'argent. Pendant des années, CANMET a étudié des problèmes particuliers dans les exploitations minières souterraines, notamment l'érosion des sols et la sécurité dans les mines. Ces activités se poursuivent; les recherches portent par exemple sur les problèmes qui surviennent lors de la transformation d'une mine à ciel ouvert en mine souterraine et sur les méthodes d'extraction au moyen de remblais.

Les recherches de CANMET portent aussi sur la mise au point de nouvelles méthodes permettant de détecter des fractures dans les toits des mines, car l'affaissement des toits est l'un des grands dangers des exploitations minières, et elles comprennent également des études sur les conditions des tensions régionales qui influent sur la stabilité des mines, particulièrement lorsqu'il faut considérer les opérations de plusieurs sociétés différentes.

Ces travailleurs installent, dans le toit d'une mine souterraine, un dispositif qui sert à contrôler la tension exercée sur les étais.

La mise au point de nouvelles méthodes d'exploitation de gisements de roches dures en profondeur constitue l'un des aspects actuels important du programme de recherche minérale de CANMET. Ces méthodes pourraient offrir de nombreux avantages par rapport aux techniques d'extraction classiques. Par exemple, la méthode connue sous le nom d'exploitation à chambres ouvertes par grands trous de mine est nettement plus sûre parce que les mineurs sont moins exposés aux sols perturbés. Cependant, ces méthodes ne seront largement appliquées que lorsque l'aménagement et la séquence des mines pourront être conçus en toute sûreté à l'avance, et non plus mis au point à la suite d'essais et d'erreurs comme cela se fait à présent.

CANMET procède à l'élaboration d'une série de lignes directrices théoriques pour les mines de roches dures en profondeur. Ces lignes directrices, qui seront publiées sous forme d'une série de rapports, porteront sur l'évaluation de la géologie et des conditions des sols, sur des analyses de la stabilité et du soutènement des mines, sur l'interaction des séquences minières et de l'érosion des sols, et sur le contrôle du sautage pour maintenir l'intégrité des parois, des toits et des piliers.

Forages au diamant

CANMET apporte son appui aux recherches sur le forage au diamant, particulièrement au moyen d'études internes et à contrat visant à réduire la pollution par le bruit aux endroits où s'effectuent des forages.

La plupart des lois actuelles du Canada limitent à 90 dBA (nombre de décibels) pour un quart de huit heures, le niveau de bruit admissible. Les recherches bénéficiant de l'appui de CANMET ont permis de découvrir la plupart des sources de bruit et d'en déterminer les niveaux. Les niveaux de dBA mesurés sont de l'ordre de 103 à 105 dBA aux emplacements des mines en surface, et sont même supérieurs dans le sous-sol. Dans le cas des forages en surface, le principal facteur de bruit

Recherches sur la suppression du bruit occasionné par les opérations de forage.

est le moteur diesel, et CANMET travaille donc sur un projet interne visant à concevoir, construire et mettre à l'essai une enceinte antibruit pour les moteurs diesel.

En étroite collaboration avec la Canadian Diamond Drilling Association, CANMET étudie aussi, au moyen de recherches à contrat, la possibilité d'obtenir une réduction appréciable et rentable du bruit en apportant des changements relativement mineurs aux méthodes de forage établies.

Traitement des minéraux

Les travaux de CANMET dans ce domaine portent surtout sur l'étude, la mise au point et la promotion de la technologie visant à accroître la récupération de minéraux commercialisables à partir de minerais canadiens, et à valoriser les minéraux. Pour ce faire, CANMET met au point des techniques, une machinerie et un outillage qui nuiront le moins possible à la santé et à l'environnement et qui offriront le maximum de sécurité.

Les Laboratoires des sciences minérales (LSM) de CANMET procèdent à l'examen de tous les aspects du traitement des minéraux, notamment les caractéristiques de la teneur en minéraux du minerai, la préparation de minerais normalisés de référence, la concentration des minéraux par flottation et par séparation gravimétrique, ainsi que l'extraction de métaux rentables à partir des concentrés.

Minerais sulfurés

CANMET mène des études approfondies sur les propriétés physiques et chimiques des minéraux. C'est par une meilleure connaissance d'un minerai et de sa roche encaissante que l'on peut plus efficacement récupérer et traiter ces minéraux. Dans les laboratoires de CANMET, les techniques d'analyse des minerais et minéraux sont constamment modifiées et de nouvelles méthodes sont mises au point pour application dans l'industrie privée.

C'est le cas notamment des minerais sulfurés de métaux de base. Les scientifiques de CANMET mettent au point des méthodes qui permettent d'obtenir une meilleure récupération de minéraux à partir des gisements de sulfures de zinc-plomb-cuivre à grain fin, d'exploitation difficile, que l'on trouve au Nouveau-Brunswick, en Ontario et au Yukon. Les usines qui traitent ces minerais récupèrent environ 65 % de leur teneur en métaux. Les recherches de CANMET visent à faire passer à plus de 85 % le taux de récupération de minéraux tout en réduisant le plus possible les répercussions environnementales du traitement.

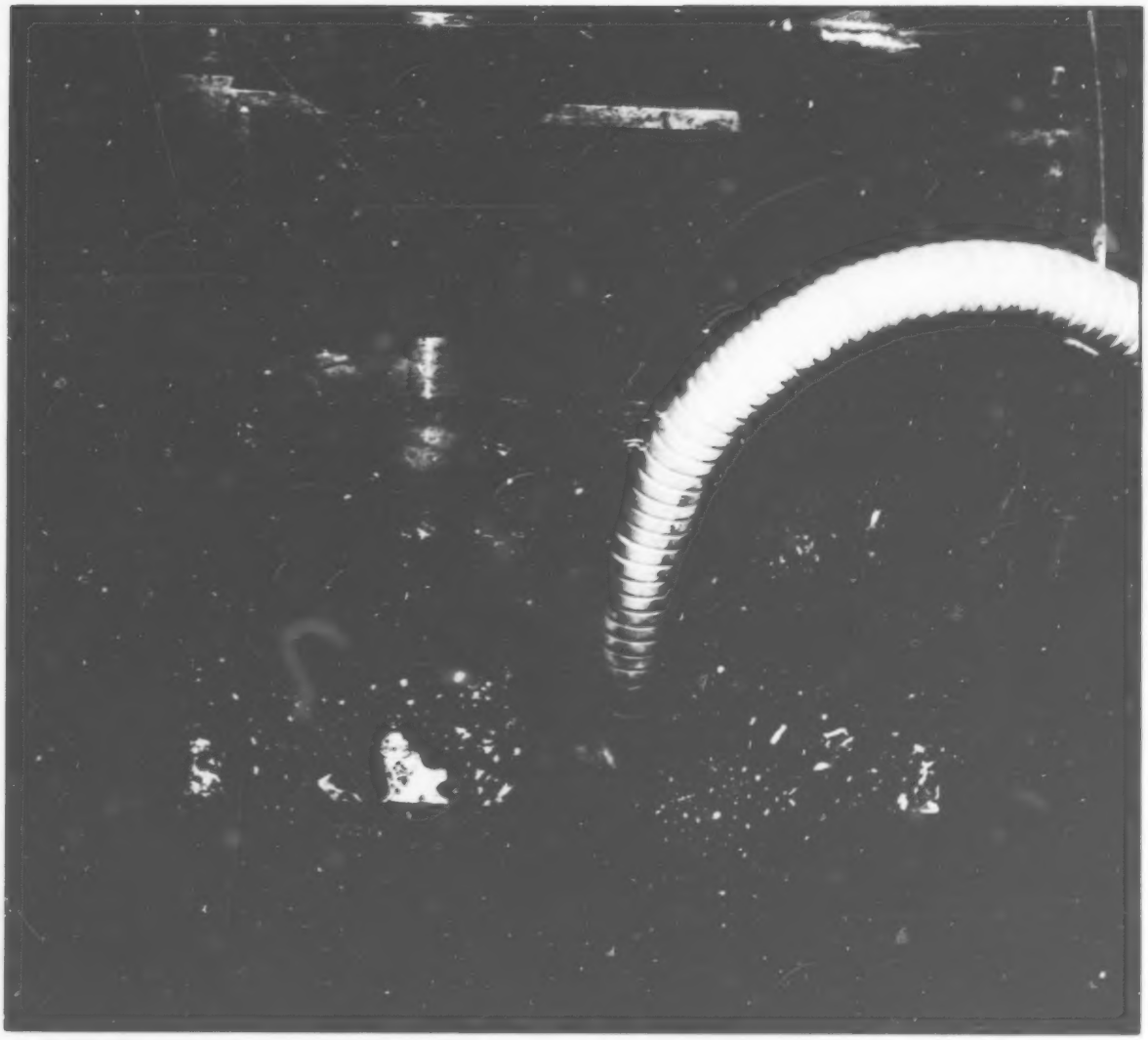
Le procédé de traitement utilisé pour récupérer les minéraux dépend beaucoup des caractéristiques particulières du minerai extrait. À CANMET, les minéralogistes et les spécialistes de la chimie analytique déterminent la composition et la structure des minerais au moyen d'études approfondies au microscope et à l'aide d'autres instruments. Les scientifiques et ingénieurs spécialistes de la préparation mécanique des minéraux combinent ces renseignements avec leurs propres données pour évaluer les méthodes de traitement qui seraient les plus efficaces, compte tenu du minerai.

Le minerai est tout d'abord mis à l'essai en laboratoire, ce qui permet de modifier ou de confirmer l'hypothèse initiale du spécialiste de la préparation mécanique des minéraux et de sélectionner les meilleures conditions de traitement. Une fois que tous les éléments du traitement ont été mis à l'essai, ils sont combinés en une petite opération continue effectuée à CANMET dans l'Unité de mise au point des procédés en continu (UMPPC).

Cette Unité est une usine de production à très petite échelle. Le minerai est concassé, broyé et transformé en bouillie en le mélangeant à de l'eau. Les boues sont pompées jusqu'aux cellules de flottation, où des bulles d'air transportent les particules minérales jusqu'à la surface; il se forme alors une écume qui est recueillie; c'est le concentré qui contient les métaux recherchés. Les matières qui ne flottent pas sont normalement évacuées, car ce sont des déchets appelés résidus.

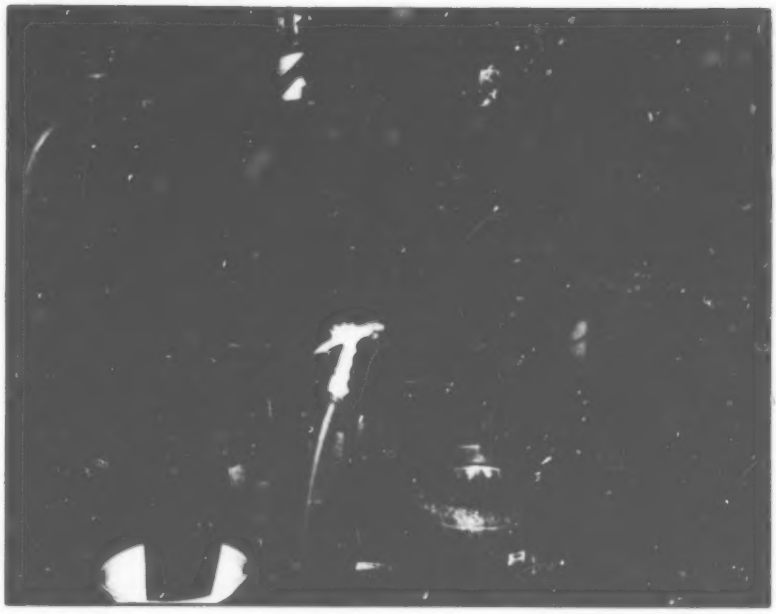
L'UMPPC de CANMET peut effectuer un contrôle rigoureux grâce à des systèmes précis de comptage et de pompage. De plus, le produit et les déchets sont continuellement surveillés par un analyseur en direct. Cet instrument d'avant-garde utilise les rayons X pour exciter les éléments contenus dans le minerai qui émettent alors un rayonnement caractéristique, lequel est décodé par ordinateur, ce qui permet d'obtenir un relevé direct du pourcentage des métaux contenus.

En collaboration avec l'industrie, CANMET examine un certain nombre de solutions de rechange pour extraire les métaux des concentrés de minéraux. Deux procédés qui pourraient être disponibles à court terme font l'objet de recherches dans des sociétés privées et au Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick en vertu de programmes financés en partie par le gouvernement du Canada, CANMET étant chargé de surveiller les travaux en tant que responsable scientifique.

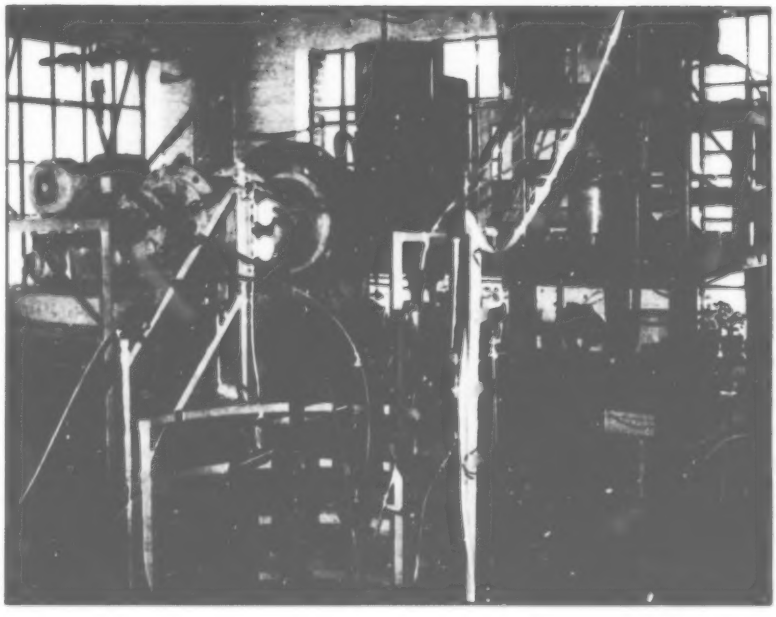


a

Trois éléments de l'installation de l'Unité de mise au point des procédés en continu (UMPPC) que CANMET utilise dans ses recherches sur le traitement des minerais — a) cellule de flottation; b) table à secousses; c) circuit de broyage.



b



c

Dans les laboratoires de CANMET, les chercheurs scientifiques étudient des procédés d'extraction qui peuvent s'appliquer à long terme et s'avérer plus efficaces pour la récupération des sous-produits et la protection de l'environnement. Ces études comprennent des travaux en laboratoire et en atelier pilote.

Les résultats des études de CANMET sur le traitement des minéraux sont publiés au pays et à l'étranger et un certain nombre de brevets ont été déposés par suite de ces travaux.

Minerai de fer

CANMET effectue la recherche et le développement relatifs au traitement du minerai de fer afin d'améliorer la position du Canada sur le marché international du minerai de fer qui est extrêmement concurrentiel. De concert avec l'industrie, le Centre étudie les domaines problématiques relatifs aux effets de la variabilité de la qualité du minerai sur la récupération, sur les opérations successives du traitement, sur la qualité des boulettes, sur la consommation d'énergie et sur les répercussions environnementales.

Les problèmes occasionnés par le zinc et les métaux alcalins dans les hauts fourneaux, ainsi que la mise au point de meilleurs combustibles pour hauts fourneaux font l'objet d'examens et de recherches continus. De même, les initiatives de l'industrie dans le traitement des déchets sidérurgiques bénéficient du soutien de CANMET sous forme de contrats.

Alumine

La production d'aluminium requiert une grande quantité d'électricité. En raison de ses vastes ressources en eau qui fournissent de l'énergie hydro-électrique à un coût économique, le Canada est devenu un grand producteur mondial d'aluminium. Cependant, toute la bauxite, minerai dont on tire l'alumine, matière première du raffinage de l'aluminium, est importée; on n'en trouve pas au Canada.

En guise de protection contre l'instabilité éventuelle des approvisionnements attribuable à des prix excessifs ou à des embargos politiques, CANMET et l'U.S. Bureau of Mines ont collaboré à un programme visant à étudier les méthodes de production d'alumine à partir de substances canadiennes autres que la bauxite. Les déchets de certaines laveries de mines de charbon, les cendres volantes de fours alimentés au charbon, l'anorthosite, la syénite néphélinique et les argiles font l'objet d'études approfondies en vue de l'extraction de l'alumine.

Une étude des argiles du Sud de la Saskatchewan et du Nord de l'Ontario a été achevée: de l'alumine a été obtenue à l'aide d'un procédé à l'acide.

L'examen de la lixiviation acide de l'alumine extraite d'anorthosite, dont le Canada possède de vastes gisements en Ontario et au Québec, a aussi été achevé. Au cours des recherches sur l'anorthosite, le rendement d'alumine s'est sensiblement accru.

CANMET a aussi réussi à extraire de l'alumine à partir de cendres obtenues dans une unité de combustion sur lit fluidisé qui brûle des déchets de charbon provenant d'une mine potentielle de charbon située à Hat Creek, en Colombie-Britannique. Avec un nouveau procédé CANMET appelé frittage modifié à la chaux, on peut extraire une quantité bien plus élevée d'alumine.

Isolants minéraux

Les isolants thermiques destinés à la construction de bâtiments constituent un produit important pour le Canada dont les conditions climatiques sont très rigoureuses, mais la majeure partie des isolants minéraux utilisés au pays sont chers et doivent être importés. Pour redresser la situation, CANMET examine les matières premières canadiennes qui feraient de bons isolants thermiques, seraient moins coûteuses, seraient plus acceptables pour l'environnement, et dont la fabrication exigerait moins d'énergie.

Préparation de matières types homologuées

Les industries de production et de traitement des minéraux doivent se référer à des critères qui permettent d'évaluer la qualité de la production. Par l'entremise du Programme canadien des matières types homologuées (PCMTH), le personnel de CANMET participe à la mise au point, à l'échelle nationale et internationale, de matières types et de procédés analytiques visant à maintenir la qualité, la cohérence et les marges de sécurité des produits des industries minérales.

Chaque année, le PCMTH prépare et homologue plusieurs échantillons de minerais, de concentrés, de métaux et de matières connexes qui sont utilisés par l'industrie comme matières types de composition. Le personnel de CANMET participe aussi à des comités de l'Association canadienne de normalisation et de l'Organisation internationale de normalisation.

Utilisation des minéraux

Un troisième important champ d'activité de la recherche minérale consiste dans l'utilisation plus adéquate des matières, surtout des métaux, provenant des minéraux. Les principaux objectifs sont d'améliorer les propriétés physiques, d'étendre les applications et d'accroître les possibilités d'utilisation des métaux et d'autres matières et d'aider l'industrie canadienne du traitement des métaux à demeurer concurrentielle en mettant au point et en introduisant de nouvelles techniques de traitement et de fabrication.

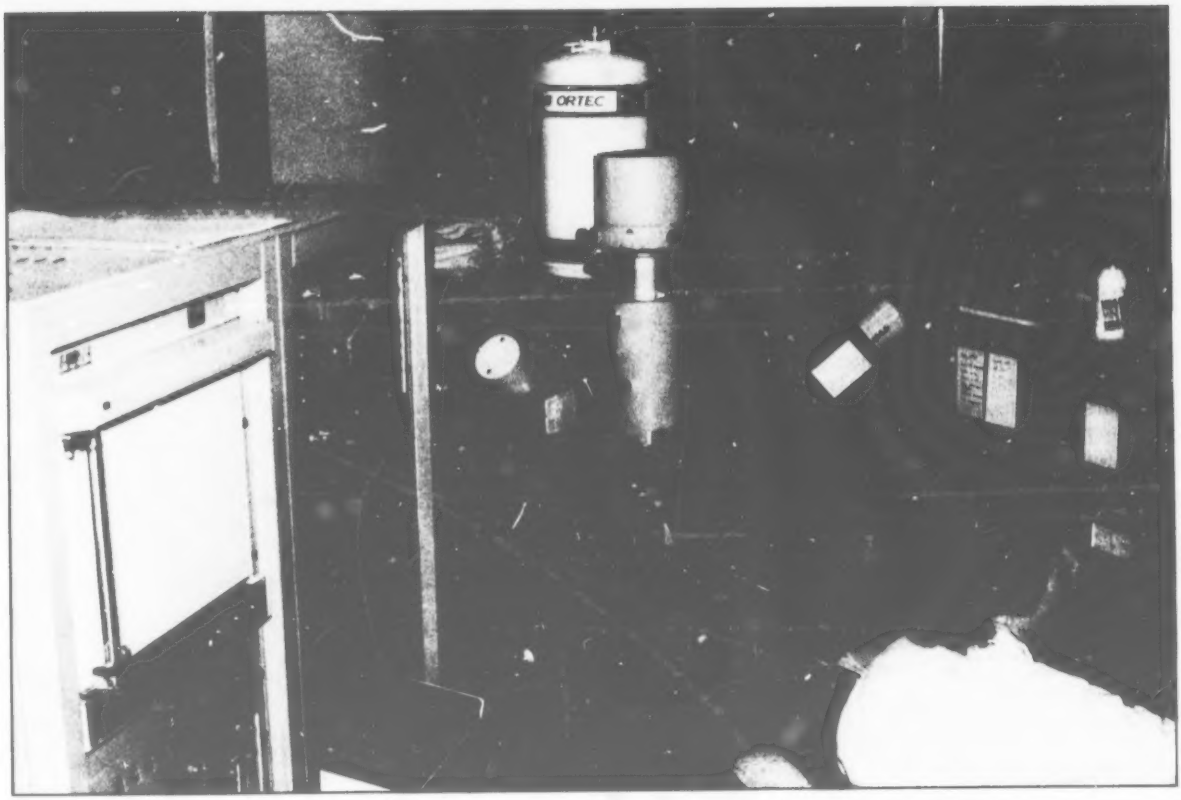
En général, on oriente les recherches en vue de résoudre les difficultés auxquelles se heurte l'industrie dans son ensemble et dont les sociétés ne peuvent venir à bout par elles-mêmes faute de moyens. Les travaux sont effectués en étroite collaboration avec d'autres ministères, avec le Comité consultatif national de la recherche minière et métallurgique, et avec des organismes de l'industrie tels que l'Association canadienne pour la recherche dans l'industrie sidérurgique et l'Association des fonderies canadiennes.

Les travaux sont actuellement axés sur le contrôle de la composition, du traitement thermique et du traitement mécanique des aciers faiblement alliés, ce qui permettra d'améliorer leur résistance, leur résilience, leur sondabilité et leur résistance à la corrosion. Ils portent aussi sur l'établissement de nouvelles techniques de soudage d'épaisses sections d'acier, sur le contrôle des défaillances dans les structures métalliques, sur le transfert de la technologie de CANMET aux industries canadiennes de l'acier et de la fonderie et, enfin, sur la mise au point de bétons et céramiques pour applications spéciales. Les recherches sur les métaux sont effectuées par les Laboratoires de recherche en métallurgie physique (LMP), tandis que les travaux sur l'amélioration du béton sont effectués par les Laboratoires des sciences minérales (LSM).

Recherches sur la corrosion et l'abrasion

Il est difficile d'évaluer les pertes économiques que représente la corrosion des métaux, mais on sait qu'elle est très importante, soit plusieurs milliards de dollars par an, selon une récente estimation. Les scientifiques de CANMET croient qu'on pourrait facilement réduire ces pertes de plus d'un milliard de dollars, si l'on appliquait convenablement les techniques de lutte contre la corrosion actuellement disponibles.

CANMET étudie actuellement la corrosion des métaux dans certains environnements, afin de découvrir et de recommander des alliages de composition plus résistante qui pourraient être utilisés dans ces conditions difficiles. Il s'agit notamment d'études sur la corrosion occasionnée par l'eau de mer, problème d'importance croissante étant donné les grands travaux imminents d'exploitation du pétrole et du gaz au large des côtes.



Cette microsonde électronique permet de détecter des quantités infimes d'éléments et d'impuretés dans des métaux et alliages.

Les études portent aussi sur la corrosion des métaux dans le sol, particulièrement les défaillances causées par la corrosion dans les réseaux municipaux de distribution et de collecte d'eaux, qui, selon une récente étude de CANMET, atteignent des proportions alarmantes au Canada. Une autre étude a pour but de réduire la corrosion des armatures d'acier dans les ouvrages en béton armé, comme les ponts, qui sont exposés au sel épandu sur les routes.

Le remplacement de l'équipement usé par abrasion excessive est une autre source de dépenses considérables, spécialement dans les industries de l'extraction et du traitement des minéraux. CANMET a mené des recherches approfondies pour résoudre cette difficulté; ces travaux comprenaient des recherches sur les techniques qui permettent de produire des éléments d'équipement avec application d'une surface dure sur une matière de base moins coûteuse, des plaques d'acier plus résistantes à l'abrasion et des céramiques résistant à l'abrasion destinées à des systèmes de manutention de matières. Ces mises au point sont actuellement transférées à l'industrie pour y être mises à l'essai, ce qui permettra d'en déterminer la rentabilité.

Améliorations des aciers et des techniques de formage des métaux

L'acier a une microstructure complexe; son rapport résilience-résistance dépend, entre autres, de la quantité de carbone et de manganèse, et d'additions d'alliages, ainsi que des impuretés présentes et du procédé de fabrication. Une bonne partie des travaux métallurgiques de CANMET visent à contrôler la microstructure afin de produire des aciers dotés de propriétés particulières en vue d'utilisations spécifiques. Ils sont actuellement axés sur la mise au point de rails d'acier plus durs pour les chemins de fer canadiens, d'aciers améliorés pour pipelines et d'aciers spéciaux pour de nouvelles applications marines et automobiles dont les critères sont plus exigeants.

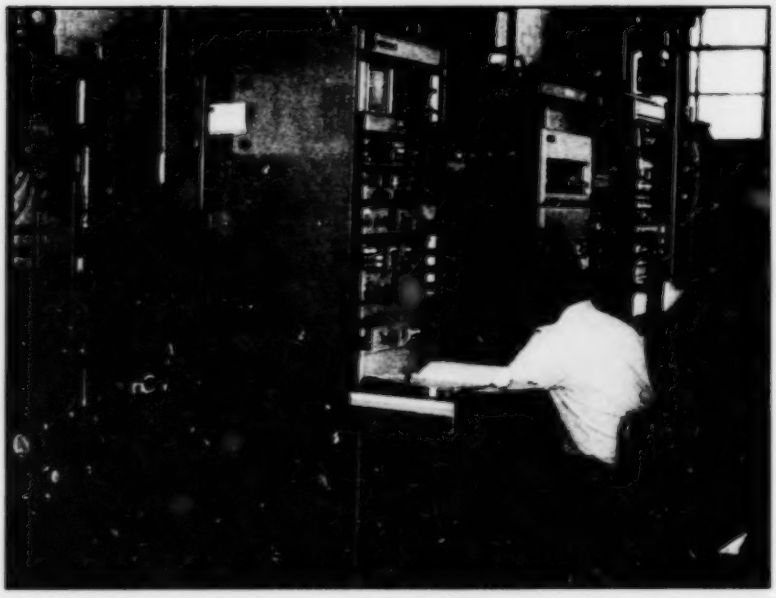
L'utilisation accrue de trains formés de wagons lourds dans le transport de marchandises en vrac au Canada, soit des minéraux, du charbon, des grains, etc., a entraîné une usure excessive des rails, spécialement dans les courbes accentuées. Les coûts d'entretien et de

remplacement ont des répercussions directes sur l'économie. CANMET s'efforce donc de mettre au point un acier pour rails à traitement thermique qui sera plus dur et résistant à l'usure que les rails actuellement en service.

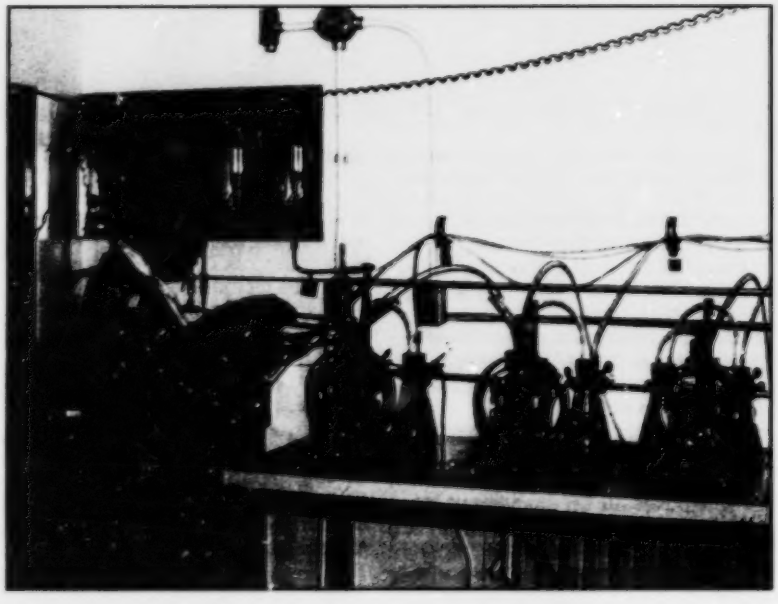
Le Canada et les États-Unis ont d'importantes réserves de gaz naturel dans le Grand Nord. Les scientifiques de CANMET cherchent à faire en sorte que l'on dispose d'aciers capables de supporter les rigueurs du climat arctique lorsque viendra le temps de construire des pipelines pour transporter ce gaz jusqu'aux marchés du Sud. Des températures extrêmement basses peuvent rendre l'acier cassant; il faut donc que les aciers pour pipelines utilisés dans les régions septentrionales, éloignées des lieux de service et d'approvisionnement, soient plus durables que les canalisations utilisées plus au sud. Parmi les améliorations possibles, citons une meilleure soudabilité, une meilleure résistance et une meilleure résilience aux basses températures pour éviter les fissures.

Les travaux de CANMET sur les aciers pour pipelines sont axés sur une famille d'aciers relativement nouvelle, les aciers faiblement alliés, de haute résistance, qui seront sans aucun doute utilisés dans tous les pipelines qui doivent être construits dans le Nord. Les scientifiques soumettent des échantillons commerciaux de ces aciers à une vaste gamme d'essais et s'efforcent en même temps de mettre au point des aciers nouveaux et plus perfectionnés.

CANMET se soucie également de la sélection d'aciers, de techniques de fabrication et de méthodes d'inspection pour les grandes plates-formes de forage au large des côtes



Au moyen d'un système d'essai de matériaux par ordinateur, on mesure les propriétés mécaniques des aciers utilisés dans la fabrication de canalisations.



Expérience sur la corrosion sous tension d'un acier utilisé dans la fabrication de canalisations.

canadiennes. Ces structures pourraient être soumises à des températures bien plus rigoureuses et à des mers encore plus démontées que celles de la mer du Nord. CANMET entreprend des recherches sur les aciers destinés aux structures au large des côtes, sur les problèmes de corrosion et de fatigue sous l'effet de la corrosion, sur les techniques de soudage de tôles d'acier très épaisses nécessaires à ces immenses structures, et sur les techniques non destructives de détection des défauts au-dessus de l'eau et sous l'eau.

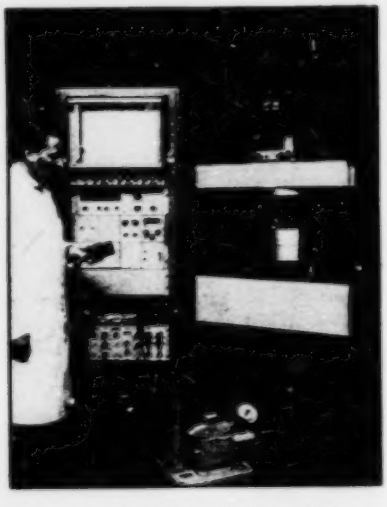
L'exploitation imminente des ressources pétrolières et gazières dans le Nord et au large des côtes, qui augmentera considérablement la circulation maritime dans les eaux arctiques et orientales du Canada, incite également les métallurgistes de CANMET à mettre au point de meilleurs matériaux marins. Pour aider à garantir le déplacement sûr et efficace de navires dans des conditions difficiles et parfois dangereuses, CANMET s'efforce de mettre au point un acier de qualité supérieure pour la coque des navires, lequel résistera mieux à l'impact des glaces à des températures extrêmes et résistera également mieux à la corrosion.

CANMET a aussi entrepris des projets visant à mettre au point de nouveaux alliages et techniques de fabrication pour produire des hélices de navires et d'autres équipements marins qui seront moins sujets à des défaillances dans le climat arctique que les matériaux actuellement en service.

L'industrie de l'automobile est le plus grand utilisateur de tôles d'acier produites par les usines canadiennes. Par suite du coût croissant du combustible et de la nécessité de l'économiser, CANMET collabore avec l'industrie canadienne de l'acier à un effort de mise au point de nouveaux aciers malléables hautement résistants, légers et à l'épreuve de la corrosion, afin de remplacer l'acier classique plus lourd utilisé dans la fabrication des véhicules.

La demande croissante d'aciers nouveaux de qualité supérieure a entraîné le besoin de créer des laminoirs plus puissants et des programmes de laminage de conception plus élaborée afin de donner à l'acier les caractéristiques métallurgiques nécessaires, grâce au processus de laminage. Actuellement, les usines canadiennes sont défavorisées, car elles sont en concurrence avec des approvisionneurs étrangers qui disposent d'installations de laminage plus perfectionnées.

Dommages causés à la coque d'un navire par l'impact des glaces.



On mesure la malléabilité de certains aciers destinés à l'industrie de l'automobile.

CANMET a mis au point un laminoir expérimental doté d'instruments et d'un ordinateur permettant de mesurer et d'évaluer les caractéristiques de fonctionnement dans le cas de divers programmes de laminage. Les recherches de CANMET dans ce domaine sont effectuées en collaboration avec l'industrie sidérurgique et avec d'autres établissements de recherche dans le cadre d'un effort intégré visant à améliorer les possibilités canadiennes de traitement de l'acier.

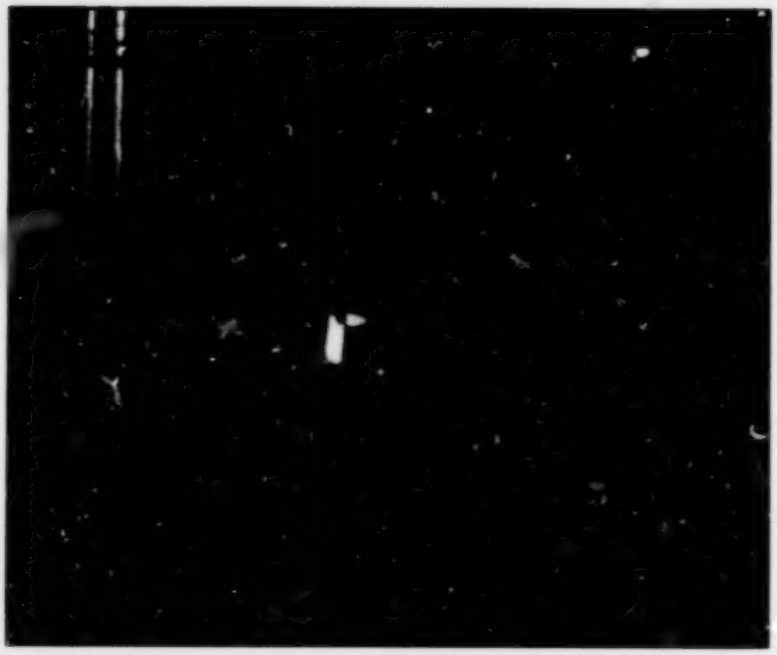
Analyse des ruptures et contraintes

Toutes les structures métalliques comportent, dans une certaine mesure, des défauts dus à la fabrication ou qui surviennent au cours de leur utilisation. Les scientifiques de CANMET utilisent une variété d'instruments et de techniques qui permettent de détecter les défauts et les contraintes dans les métaux; grâce à la réputation qu'ils se sont taillée dans ce domaine, ils sont appelés à contribuer à la mise au point de spécifications et de normes de résilience pour une vaste gamme de structures métalliques et de matériaux de construction.

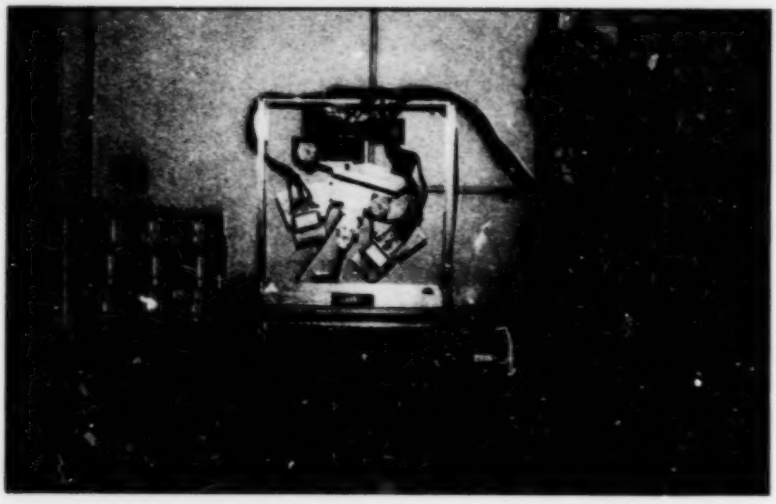
Les chercheurs de CANMET s'efforcent continuellement de mieux comprendre l'« écoulement » et les ruptures des structures métalliques, et de concevoir des méthodes d'essai qui refléteront mieux les conditions réelles auxquelles sont soumises les structures au cours de leur utilisation.

Bien que les procédés utilisés en laboratoire consistent à forer des trous ou à enlever des parties de matière pour éprouver les contraintes des métaux, ces méthodes ne peuvent habituellement être utilisées pour mesurer les contraintes sur le terrain. Cependant, il est évidemment important de savoir à quelles contraintes sont soumises des structures telles que les avions, navires, pipelines, réacteurs nucléaires ou les plates-formes de forage au large des côtes.

Une méthode efficace qui permet de détecter et de mesurer de façon non destructive les contraintes s'appelle la diffraction des rayons X,



Un lingot d'acier très résistant et faiblement allié est soumis à des essais de laminage à chaud.



Diffractomètre à rayons X portatif que CANMET a mis au point pour mesurer avec précision et in situ les tensions exercées sur des structures métalliques.

mais elle n'a pas été appliquée sur le terrain, car l'équipement perfectionné utilisé n'est pas portatif. CANMET procède actuellement à la mise au point d'un diffractomètre à rayons X portatif, qui mesurera avec rapidité et exactitude les contraintes structurales sur le terrain. À la suite d'une enquête effectuée sur le marché nord-américain, on prévoit qu'il y aurait une forte demande pour cet instrument et on pourrait en écouler 25 à 100 000 $ chacun au cours de la première année, et environ 80 au cours de chacune des trois ou quatre années suivantes.

Depuis plus de 20 ans, les Laboratoires de recherche en métallurgie physique (LMP) soumettent des candidats à des examens et les évaluent en vue de leur accorder un certificat en essais non destructifs selon les normes établies par l'Office des normes générales du Canada (ONGC). Les Laboratoires administrent un système d'examens pratiques écrits, par l'intermédiaire d'un réseau de centres d'examen répartis d'un bout à l'autre du Canada. Selon un système de recouvrement des frais, les Laboratoires préparent, organisent et notent les examens, fournissent des examens types, tiennent des dossiers et émettent des certificats aux demandeurs choisis. En 1982, plus de 800 certificats de ce genre ont été émis au pays, sanctionnant ainsi la qualification des candidats aux diverses méthodes d'essais non destructifs.

Formage et coulage des métaux

Au Canada, les fonderies sont généralement petites, mais, prises dans leur ensemble, elles constituent une industrie importante. La valeur de leur production atteint presque celle de la sidérurgie, et elles sont le soutien économique de nombreuses petites localités réparties à travers le pays. Un important objectif des recherches de CANMET consiste à soutenir l'industrie canadienne de la fonderie en introduisant de nouvelles techniques de traitement des métaux qui aideront l'industrie à rivaliser avec ses concurrents étrangers de plus en plus sérieux.

Parmi les grandes réalisations dans ce domaine figurent la mise au point de nouveaux liants de sable pour moules et noyaux, un programme d'introduction de la coulée électrique sous laitier dans l'industrie canadienne, la mise au point de nouvelles applications pour la coulée en moules métalliques et le transfert à l'industrie de procédés plus efficaces pour l'utilisation des cubilots.

Les liants pour sable de moulage actuellement utilisés dans les moules et noyaux de fonderie sont faits soit de composés organiques à base de pétrole, soit de composés inorganiques à base de silicate de sodium. Les deux procédés présentent des inconvénients; le premier produit des vapeurs toxiques et son coût augmente rapidement, tandis qu'avec les liants inorganiques, le décochage est malaisé après la coulée et ils sont difficiles à récupérer. CANMET a entrepris un projet visant à mettre au point de nouveaux liants pour sable de moulage dégradables dont le coût sera acceptable, qui posséderont une bonne résistance, pourront être récupérés et seront plus acceptables pour l'environnement. Un système prometteur de liant à base de produits non pétroliers a été mis au point et sa viabilité commerciale fait l'objet d'études. Entre-temps, les recherches sur d'autres liants supérieurs se poursuivent.

Un procédé, appelé coulée électrique sous laitier, présente plusieurs caractéristiques intéressantes, notamment une qualité de coulée très élevée et un effet réduit sur l'environnement. À l'heure actuelle, aucun procédé commercial de ce genre n'existe au Canada. Cependant, le ministère de la Défense nationale s'intéresse à la production par cette méthode de moules légers ou à parois minces, comme les moules en carapace, et apporte son appui à un projet de CANMET visant à construire une installation expérimentale de coulée électrique sous laitier et à démontrer ultérieurement la technique à l'industrie canadienne pour des applications commerciales et militaires.

On coule de l'acier en fusion dans des moules de sable pour éprouver de nouveaux types de liant.

Une technique connue sous le nom de moulage en coquille par gravité est très répandue pour la coulée de métaux ayant un faible point de fusion, tels les alliages d'aluminium. En raison du fini superficiel amélioré et des tolérances plus étroites en matière de dimension qu'on peut atteindre grâce à ce procédé, ainsi que du coût croissant des sables de fonderie et des problèmes environnementaux associés à la coulée en moules jetables, CANMET étudie la possibilité d'étendre la technique des moules permanents afin de produire des pièces coulées complexes en métaux et alliages ayant un point de fusion plus élevé, comme le fer et l'acier.

Un vaste secteur de l'industrie canadienne de la fonderie, soit environ 80 fonderies de fer réparties d'un bout à l'autre du pays, utilise des cubilots. Ces cubilots fonctionnent avec du coke de fonderie coûteux, qui est importé en totalité des États-Unis, au lieu de coke de haut fourneau, meilleur marché. Les précédentes recherches de CANMET indiquaient qu'un grand nombre de ces fours ne produisaient pas avec efficacité et qu'on pouvait réduire de 3 à 5 % la consommation de coke, ce qui représenterait une économie d'au moins un million de dollars par année.

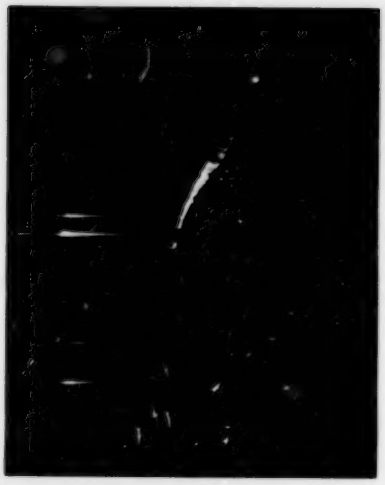
CANMET transfère à l'industrie ses connaissances techniques et pratiques pour améliorer le rendement des cubilots au moyen d'ateliers régionaux et de programmes pour mini-ordinateurs qu'elle a élaborés pour l'analyse et le contrôle du fonctionnement des cubilots. On effectue également des recherches sur la possibilité de modifier la conception et le fonctionnement des cubilots, de façon à permettre l'utilisation de coke de qualité inférieure.

Ciment et béton

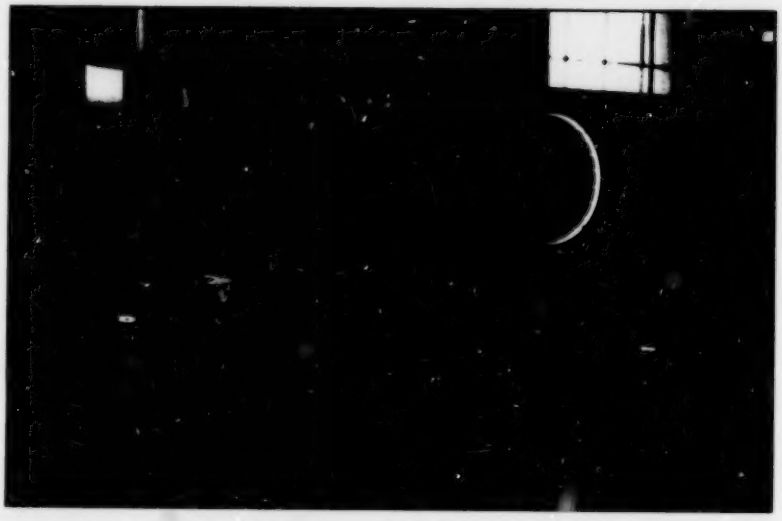
CANMET participe à un projet relatif au ciment et au béton visant à économiser énergie et ressources grâce à l'exploitation et à l'utilisation de matériaux d'origine minérale exigeant moins d'énergie. Des agrégats minéraux, des ciments et des bétons sont évalués sous exposition à des températures extrêmes en vue de leur utilisation dans la construction de plates-formes de forage au large des côtes et dans celle de réacteurs nucléaires, ainsi que dans l'exploitation de systèmes d'essais destructifs et non destructifs connexes. CANMET étudie aussi la production de bétons de très haute résistance avec mélange d'agrégats minéraux, de cendres volantes et de superplastifiants.

L'effet des eaux acides des rivières et des lacs septentrionaux sur la durabilité et la performance du béton a été étudié en collaboration avec Hydro-Québec et d'autres organismes de cette province et les résultats ont été évalués. L'industrie s'est vu confier plusieurs phases de la recherche et du développement appliqués au béton et au ciment, trois d'entre elles portant sur la durabilité du béton superplastifié. Les superplastifiants sont de nouveaux types de produits chimiques qui, une fois ajoutés au béton, accroissent considérablement sa maniabilité, ce qui réduit nettement le besoin d'eau. Cette réduction de l'utilisation d'eau ouvre de nouvelles possibilités pour l'utilisation d'agrégats marginaux et pour la mise au point de bétons de haute résistance.

En ce qui concerne les économies d'énergie, les études de CANMET démontrent qu'on pourrait



La fonte est coulée dans un moule permanent.



Cet appareil moderne d'essai de compression, qui peut exercer une charge maximum de près de 300 000 kg, est utilisé pour étudier la résistance à la pression et les propriétés élastiques d'échantillons de béton.

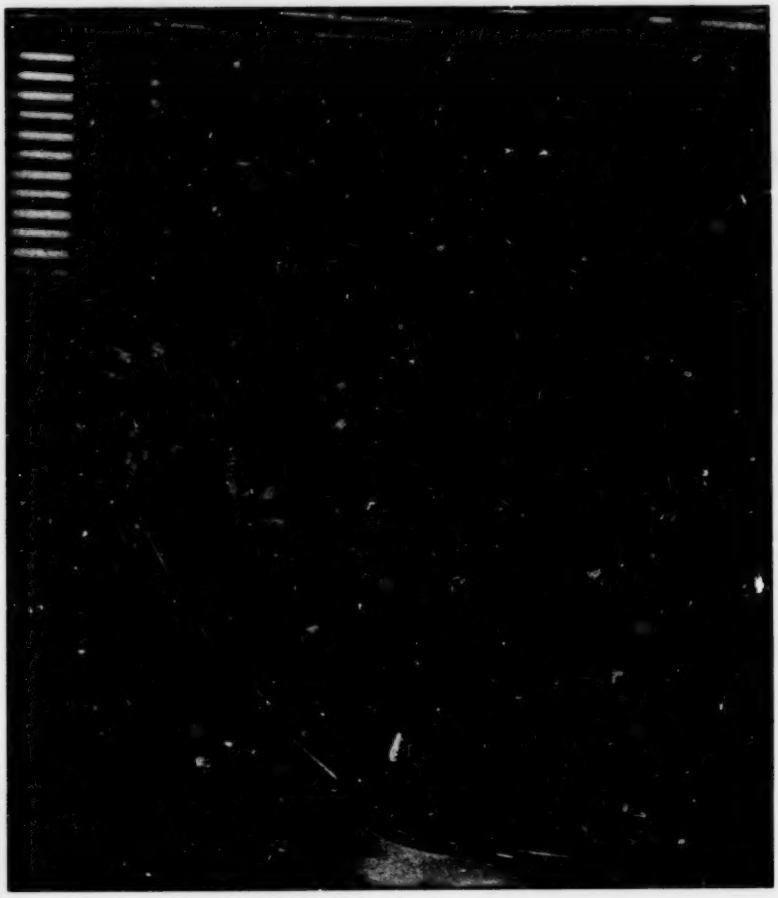
réaliser des économies d'énergie de 5 à 50 % en utilisant des ciments mélangés à base de ciment Portland, de cendres volantes ou de laitiers en granulés. L'utilisation d'agrégats légers provenant des schistes des mines de charbon a fait l'objet d'une étude à titre de mesure d'économie d'énergie.

Conservation des minéraux et des métaux

Les minéraux et les métaux représentent une proportion élevée de la puissance économique du pays. La découverte de nouveaux usages pour des matières qui sont normalement rejetées parce qu'elles sont considérées comme des déchets, sujet auquel CANMET s'intéresse directement, permet d'utiliser plus rationnellement ces précieuses ressources.

Pour faire connaître l'ampleur et la disponibilité des déchets de l'extraction primaire et du traitement des minéraux au Canada, et pour stimuler les utilisateurs éventuels, CANMET compile des renseignements sur leur venue, sur leurs caractéristiques physiques et chimiques et sur leurs usages potentiels.

Des recherches sur le recyclage de tournures pour en faire de nouveaux produits ont été effectuées dans le cas des déchets non ferreux et ferreux, et la faisabilité technique du recyclage des tournures d'acier et d'aluminium a été démontrée. Les négociants en rebuts d'acier et d'aluminium ont assisté à des démonstrations prouvant que le compactage à froid et l'extrusion des déchets usinés peut donner des matières d'une limite élastique supérieure à la moyenne.



Environnement, santé et sécurité

Des lignes directrices de plus en plus draconiennes sur le milieu de travail et sur les effluents des exploitations minières et métallurgiques canadiennes ont imposé des restrictions rigides à l'industrie. En collaboration avec d'autres organismes fédéraux et avec les provinces, CANMET étudie la technologie nécessaire pour fournir des solutions à long terme à ces problèmes.

L'environnement au fond des mines

Les études sur les conditions de travail au fond des mines se sont concentrées sur les mesures de détection et de réduction des niveaux de rayonnement, de fumées nocives, de poussière et de bruit.

CANMET administre à Ottawa et à Elliot Lake, en Ontario, des laboratoires où des scientifiques mettent à l'essai des techniques qui permettent de mesurer, de surveiller et de contrôler les éléments dangereux de l'atmosphère des mines. Des instruments de mesure rapide et précise des émissions radioactives sont continuellement mis au point. De plus, CANMET a conçu et produit un détecteur de radon portatif, un casque de mineur équipé pour la surveillance des niveaux de bruit et une technique de prélèvement et d'analyse d'échantillons qui permet d'évaluer exactement les niveaux de poussière respirable dans les mines de métaux.

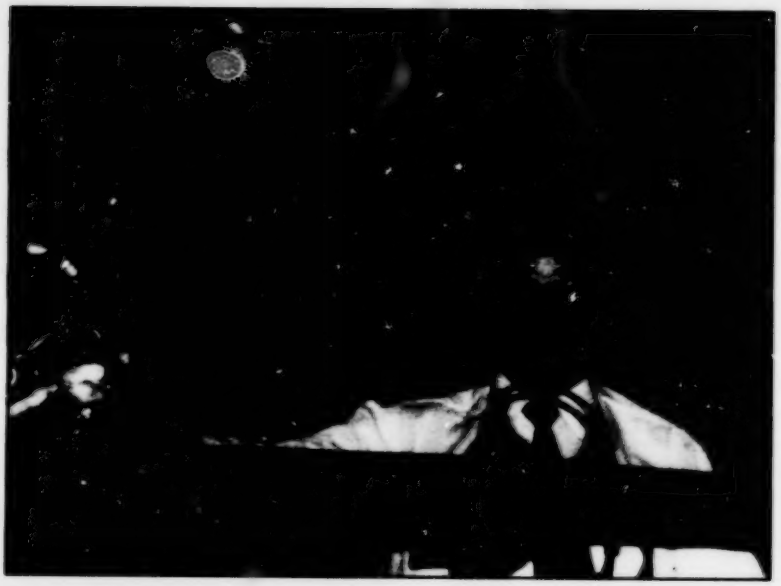
CANMET a conçu cet instrument portatif, alimenté par piles, qui renseigne rapidement et de façon précise les travailleurs des mines d'uranium sur la quantité de rayonnement auquel ils peuvent être exposés.

CANMET procède actuellement à la mise au point d'un système intégré, portatif, de surveillance de l'atmosphère des mines qui permet de mesurer, en permanence et à divers endroits de la mine, les paramètres de la ventilation, les gaz toxiques, la poussière et même éventuellement les niveaux de rayonnement. L'objectif consiste à pouvoir évaluer les répercussions globales, sur la santé, de tous les agents nocifs présents dans l'atmosphère de tous les types de mines souterraines.

En 1981, le Canada et les États-Unis ont signé des engagements officiels en vue de mener des recherches en collaboration dans la technologie des minéraux et dans les sciences de la Terre. L'une de ces premières entreprises a été lancée en 1982. Le ministère du Travail de l'Ontario et l'U.S. Bureau of Mines ont alors entamé un programme en collaboration afin d'évaluer conjointement les techniques mises au point des deux côtés pour réduire l'émission de gaz d'échappement provenant de l'équipement diesel d'extraction minière.

Le Laboratoire canadien des atmosphères explosives (LCAE), de CANMET, étudie les moyens de réduire les émissions de gaz d'échappement depuis un certain nombre d'années et obtient des résultats appréciables. Les recherches sont axées sur quatre grands domaines: l'émulsification de l'eau et du méthanol en présence de carburant pour moteurs diesel, le dépoussiérage par voie humide des émissions des moteurs diesel et la filtration des gaz d'échappement.

En ce qui concerne les recherches sur les émulsions eau-huile, un carburant contenant 15 % d'eau a été mis au point: il réduit de 38 % la quantité d'oxyde nitrique contenue dans les gaz d'échappement des moteurs diesel, et de 40 % la teneur en matières particulaires. Aucune augmentation de la consommation de carburant faisant suite à l'augmentation du rendement de la combustion n'a été enregistrée.



Épurateur à venturi du LCAE, capable de réduire de 60 à 75 % la quantité de particules présentes dans les émissions des moteurs diesels.

Assemblage en laboratoire d'un moteur diesel, dans lequel un filtre de céramique est intégré au système d'échappement. Le filtre, qui a la forme d'un baril, est monté à mi-chemin du tuyau d'échappement (à l'avant-plan, à droite).

Le dépoussiérage par voie humide sert, depuis environ un demi-siècle, à refroidir les gaz d'échappement et les surfaces de l'équipement connexe, mais, jusqu'à il y a peu de temps, on n'accordait que peu d'attention aux effets du dépoussiérage sur les émissions de suie et sur les émissions toxiques. Le LCAE a examiné les systèmes existants à pulvérisation à haut rendement, et, à partir d'un modèle mathématique, il a conçu un laveur venturi. Mis à l'essai, le système retenait au piège les matières particulaires selon des proportions variant entre 60 et 75 %. De plus, le laveur venturi a réduit de 20 % la teneur en dioxyde d'azote des gaz d'échappement.

En poursuivant ses recherches, le LCAE a démontré que si le système à émulsion eau-huile et le laveur venturi sont installés sur la même machine, on parvient à éliminer au total 80 % et plus des particules par rapport aux résultats obtenus en l'absence de ces dispositifs. De plus, 90 % de l'anhydride sulfureux résultant de la combustion est supprimé.

Bien que le laveur n'absorbe qu'une faible quantité d'oxyde de carbone, de gaz carbonique et de bioxyde d'azote, le LCAE estime qu'en combinant le laveur venturi et le système à émulsion, on pourrait réduire de 70 % au total les gaz toxiques d'échappement. Cette combinaison pourrait tout particulièrement convenir à l'amélioration de l'environnement dans les atmosphères explosives telles que celles des mines de charbon.

Le LCAE effectue des recherches sur les filtres d'échappement en vue de les utiliser dans les atmosphères souterraines non explosives. Des dépoussiéreurs à couche filtrante en fibre de verre ont été conçus et mis à l'essai. On espère obtenir de meilleurs résultats avec les filtres en céramique Corning dont on fait actuellement l'évaluation. Ces systèmes de filtration permettent d'éliminer jusqu'à 95 % des matières particulaires présentes dans les émissions des moteurs diesel, et, lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec le carburant émulsifié, on peut parvenir à réduire de moitié les gaz toxiques.

Des travailleurs installent un instrument qui sert à mesurer la pression de l'eau à plusieurs horizons ou niveaux, dans des résidus d'uranium, à Elliot Lake.

Résidus d'uranium

Les préoccupations du public quant à l'évacuation en toute sécurité des résidus de mines et d'usines de broyage d'uranium et la nécessité de réunir un ensemble complet de connaissances afin de garantir la remise en état des zones de dépôt de résidus miniers après la fermeture de mines ont abouti à la formation, en 1980, du Groupe

national de la planification technique de la recherche sur les résidus d'uranium. Ce Groupe a recommandé la création du Programme national de recherche sur les résidus d'uranium, coordonné par CANMET. Officiellement annoncé en septembre 1982, le Programme est une vaste étude qui comprend des modèles mathématiques de systèmes de résidus, la mesure de paramètres pertinents dans les résidus existants et l'inventaire des techniques d'évacuation économiquement faisables.

Depuis un certain nombre d'années, CANMET étudie et évalue les résidus et les mécanismes qui permettent de contrôler leur effet sur l'environnement. Un programme de remise en végétation a été instauré afin de permettre la croissance des plantes, et des applications périodiques d'engrais, de boues ou de bran de scie sont utilisées pour reconstituer des sols riches en éléments organiques. Les légumes et une végétation spontanée croissent en deux ou trois ans, et les arbres apparaissent naturellement dans les années suivantes. La fabrication de compost à partir des déchets municipaux en vue d'accélérer l'établissement de sols riches en éléments organiques a fait l'objet d'examens dans les régions d'essai.

CANMET cherche aussi à établir les caractéristiques des processus physiques et chimiques à l'intérieur et à proximité des dépôts de résidus. De petites cuves de laboratoire et de grandes fosses d'essai aménagées sur le terrain servent à des études contrôlées sur la météorisation, sur les matériaux de couverture, les matières absorbantes et les additifs chimiques. Des études d'hydraulique et des analyses sur le cheminement des métaux lourds, sur l'écoulement des effluents acides et sur les espèces radioactives à partir des résidus sont en cours, ce qui permettra de prévoir les répercussions à long terme des effluents de résidus.

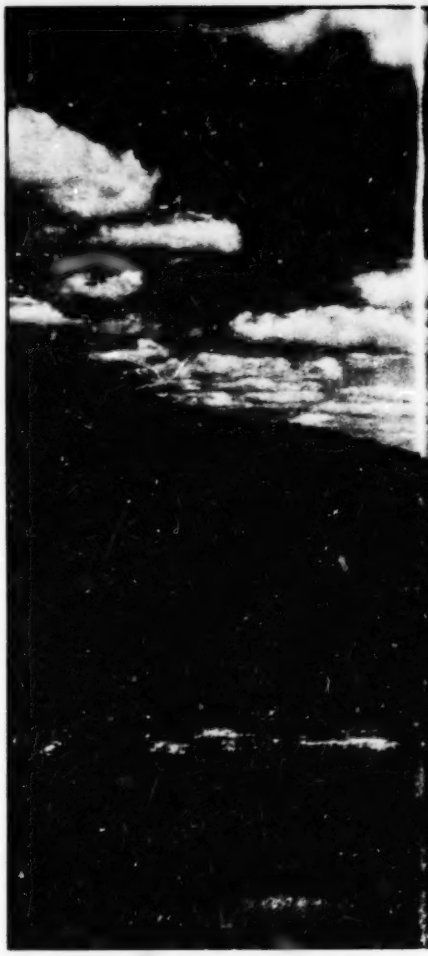
Résidus sulfurés

La formation de polythionates pendant le broyage et la flottation des minerais sulfurés entraîne un problème environnemental préoccupant, étant donné leur tendance à s'oxyder lentement. Il se crée une acidité dans les cours d'eau récepteurs, plusieurs kilomètres en aval du bassin à résidus.

Des études approfondies ont été entreprises sur plusieurs thiosels en collaboration avec les sociétés minières du Nouveau-Brunswick qui exploitent des minerais sulfurés, et une critique approfondie des documents existant sur les thiosels a été effectuée. Un certain nombre d'autres méthodes de destruction des thiosels ont été évaluées. L'oxydation bactérienne est la méthode la plus économique, et les efforts se concentrent donc sur la recherche de la culture bactérienne la plus active; de plus, les systèmes mis au point sont actuellement mis à l'essai sur le terrain. Une étude sur les effets des acides, de la température, des zones superficielles et de la concentration en réactifs nutritifs, en métaux lourds et en réactifs de flottation a guidé ces efforts. Des progrès notables ont été réalisés dans l'analyse des thiosels.

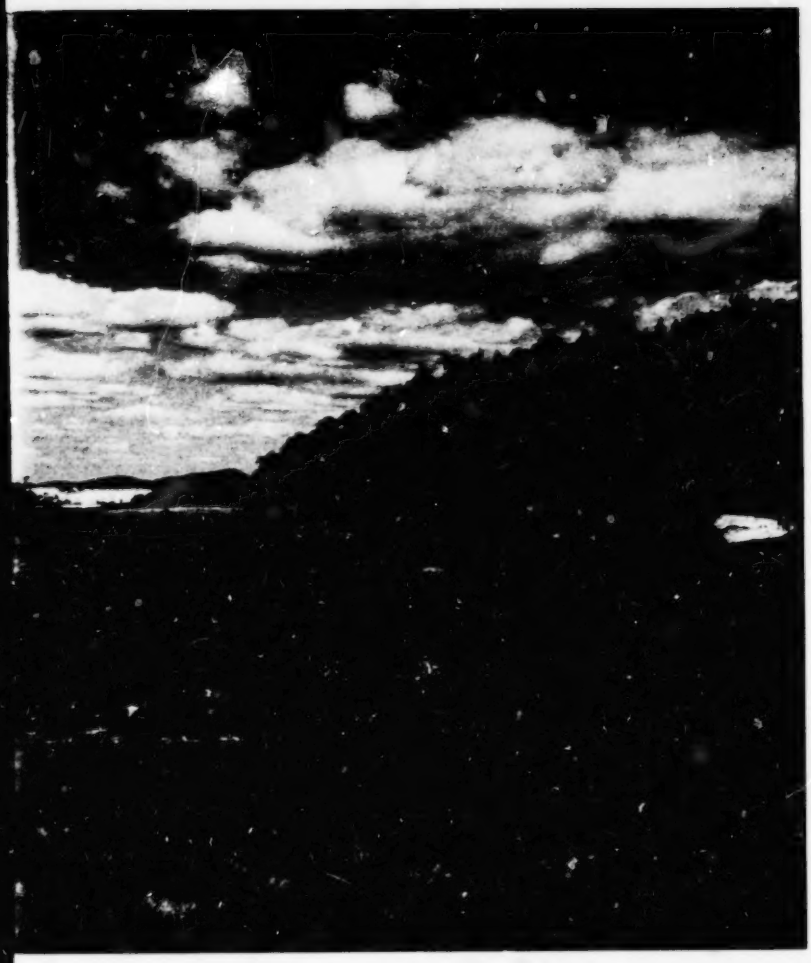
Émissions des industries pyrométallurgiques

Les industries de la fonderie et de la fabrication d'acier sont tenues de se soumettre à des règlements environnementaux stricts. Pour aider à contrôler les émissions des industries pyrométallurgiques, CANMET a mis au point un dispositif permettant d'éliminer les matières particulaires et de récupérer la chaleur résiduelle des cheminées. Connu sous le nom de filtre à couche épaisse, ce dispositif fait passer les gaz effluents chauds à



travers des couches de matériaux granuleux et recycle la chaleur récupérée dans la cheminée. Le système de CANMET a été mis à l'essai sous forme modifiée dans une fonderie à Winnipeg. Des essais sur des échantillons d'émissions, entrepris pour déterminer la conformité du procédé avec les règlements de lutte contre la pollution de la province du Manitoba, ont indiqué que le système donnait des résultats satisfaisants.

Les demandes de recherches sur le contrôle des émissions d'anhydride sulfureux (SO_2) se font de plus

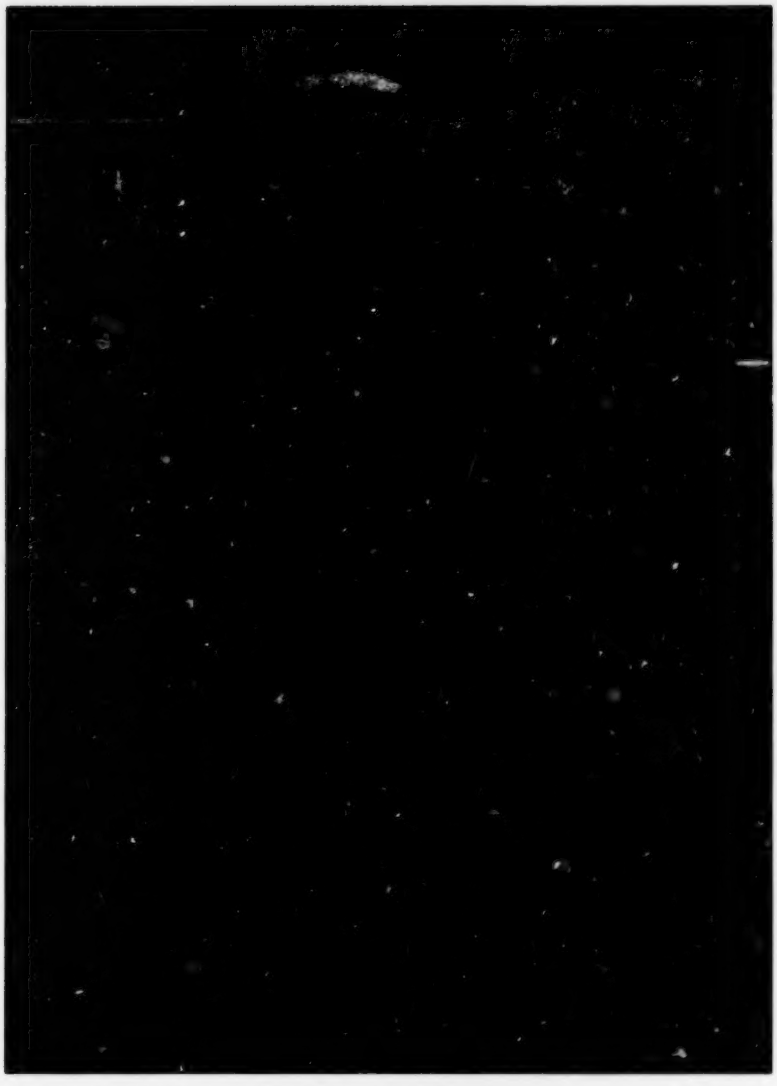


en plus nombreuses à mesure que s'accumulent les preuves à l'effet que les pluies acides ont des effets nocifs. Les scientifiques de CANMET évaluent l'efficacité et la rentabilité des procédés de récupération pour les émissions diluées de SO_2 provenant des fonderies canadiennes. Le pouvoir adsorbant de SO_2 de divers calcaires dans des systèmes de combustion est aussi en cours d'évaluation. D'autres émissions de fonderies, comme le mercure et l'arsenic, font l'objet d'évaluations, ce qui permettra de concevoir des techniques de traitement visant à réduire ces émissions.

Environnement industriel

CANMET a travaillé à la mise au point d'un programme de traitement de l'amiante par voie humide en vue d'atténuer le danger pour la santé et la sécurité que représentent les poussières de fibres produites pendant le traitement par voie sèche des minerais d'amiante. L'une de ces techniques, celle du séparateur conique qui permet de libérer les fibres des échantillons de minerai d'amiante, a été concluante. CANMET a aussi contribué matériellement à une norme révisée d'hygiène et de travail relative à l'amiante, et une nouvelle étude a été entamée avec la participation de l'industrie, du gouvernement et d'organismes de recherche du Canada, des États-Unis et de l'Europe.

Rétablissement de la couverture végétale d'une zone de dépôt des résidus.



Ce calorimètre à accélération sert à déterminer les risques thermiques des explosifs.

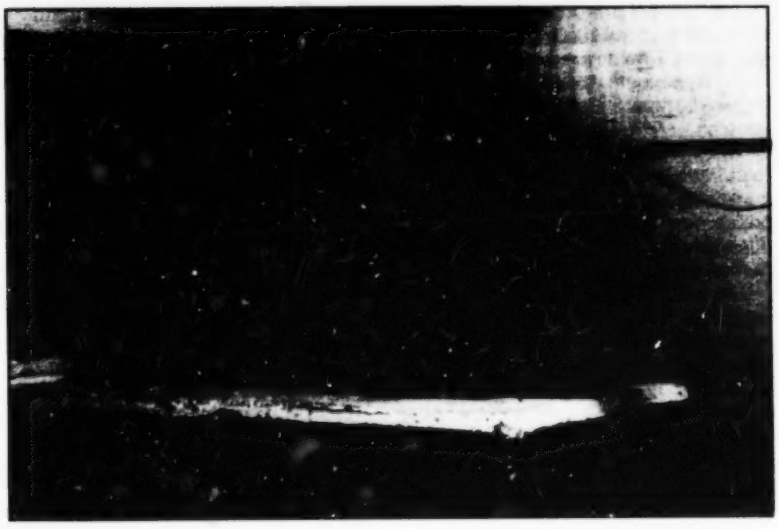
Mise à l'essai d'explosifs et autorisation d'utilisation

Les propriétés physiques, chimiques et explosives de toutes les matières de nature explosive, qu'elles soient fabriquées au Canada ou qu'elles soient importées, sont soumises à des essais en vertu de la *Loi sur les explosifs* et de la *Loi sur le transport des marchandises dangereuses*, ce qui permet de garantir que leur fabrication, manutention, entreposage, transport et utilisation peuvent s'effectuer dans une sécurité relative. Les explosifs qui sont jugés appropriés, de l'avis de l'inspecteur en chef de la Direction des explosifs d'EMR, sont déclarés « autorisés ».

Les essais sont effectués par le Laboratoire canadien des atmosphères explosives de CANMET (LCAE). Le LCAE examine aussi des échantillons qui lui sont soumis par d'autres ministères, par la police et par l'industrie; ces explosifs sont utilisés à leur propre usage. Le Laboratoire collabore aussi avec des établissements semblables d'autres pays afin de mieux connaître les explosifs et de perfectionner ou de mettre au point des méthodes d'essai, normes et spécifications nouvelles.

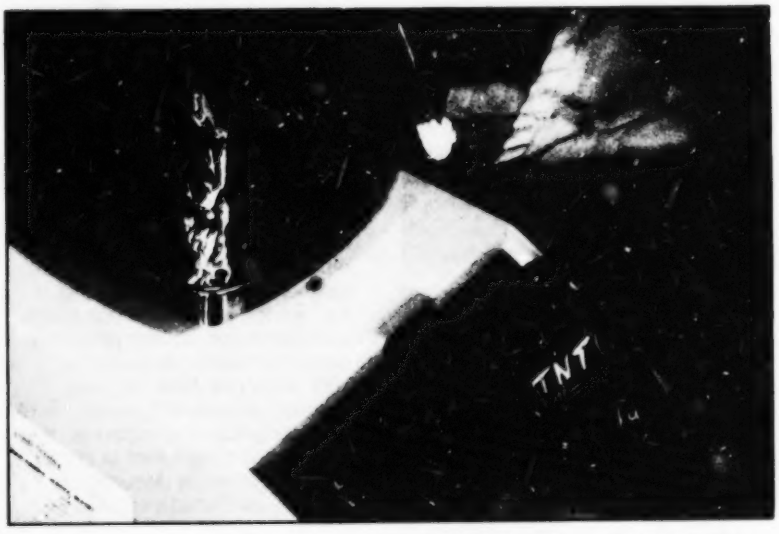
Les explosifs en bouillie assument un rôle de plus en plus important dans les exploitations minières; le LCAE a lancé une série d'essais en collaboration avec ses homologues d'autres pays afin de déterminer les risques que ces explosifs et d'autres semblables posent pendant leur fabrication, leur transport et leur entreposage. Les explosifs en bouillie contiennent du nitrate d'ammonium et d'autres substances en suspension aqueuse qui sont utilisés dans des trous de sonde humides. Une fois les explosifs en bouillie chargés, il se forme un gel sur lequel des explosifs moins coûteux, mais non hydrofuges, peuvent être chargés.

Le personnel du LCAE doit comparaître de temps en temps à titre de témoins-experts au cours des délibérations des tribunaux lorsque des explosifs sont en jeu.



Cette pièce d'équipement, appelée « récepteur universel », est utilisée par des scientifiques du LCRE pour évaluer les vitesses et les effets produits par des munitions sportives.

Le LCRE emploie le mortier balistique pour mesurer l'énergie libérée par un explosif.

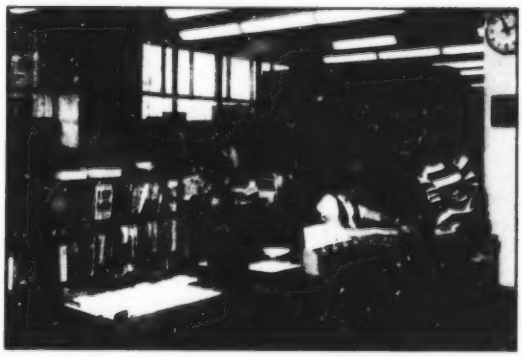


Mesure précise des charges de TNT servant à la calibration du mortier balistique au LCRE.

Information technologique et diffusion de la technologie

Le laboratoire est le lieu privilégié où s'élabore la connaissance scientifique, mais il ne devient utile que si l'on diffuse les nouvelles technologies et compétences qui y sont acquises à ceux qui en ont besoin. La communication de l'information technique est une profession dont la complexité et la spécialisation vont croissantes à mesure que se multiplie l'information nouvelle en ce domaine.

Les scientifiques de CANMET émettent des rapports sur leurs travaux, publient des communications lors de séminaires et conférences, aident directement les industries qui se heurtent à des problèmes technologiques, et conseillent les gouvernements au sujet des répercussions que les nouvelles techniques auront sur la politique proposée.



La bibliothèque de CANMET possède la plus volumineuse collection canadienne de documents sur la technologie des minéraux et de l'énergie.

Des centaines de rapports techniques de CANMET sont préparés pour des fins de publication par la Section des publications de la Division de l'information technologique.

À l'appui de ses travaux scientifiques, CANMET dispose d'une Division de l'information technologique qui est organisée de façon à rendre possible la diffusion de la technologie.

- La Division acquiert et organise des ressources d'information intéressantes pour la recherche, et constitue un centre national de ressources pour les publications sur les minéraux et l'énergie.
- Elle prépare des résumés et index informatiques de documents sur la technologie minière, sur le traitement des minéraux et sur la technologie du charbon; dans le cas du charbon, elle collabore avec l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Les utilisateurs disposant de terminaux compatibles peuvent avoir directement accès à ces données et effectuer leurs propres recherches.
- Elle participe à la diffusion de renseignements techniques en publiant chaque année de 500 à 600 rapports, rédigés par des scientifiques de CANMET et par d'autres chercheurs travaillant sur des projets parrainés par CANMET.
- Elle fournit des renseignements techniques à des scientifiques du gouvernement, de l'industrie et de centres de recherche par l'intermédiaire de son service de réponse aux demandes de renseignements et de références.

La Division administre une bibliothèque technique, source principale de son information, de quelque 200 000 monographies, rapports techniques, procès-verbaux de conférences, périodiques et rapports de recherche qui constituent la plus grande collection de documents techniques au Canada consacrée à la technologie des minéraux et de l'énergie.

En 1981, un Bureau du transfert de la technologie a été créé: cet organisme central de CANMET garantit la transmission efficace de nouvelles techniques, des laboratoires jusqu'au point d'application pratique.

La transmission de la technologie assure le lien entre CANMET et ses clients, soit l'industrie, d'autres ministères fédéraux, des gouvernements provinciaux, et des organismes tels que des sociétés de la Couronne.

L'avenir à CANMET

Les travaux de CANMET sur la technologie de l'énergie continueront à refléter les réalités et les besoins d'un monde dans lequel la filière énergétique subit une transition — des combustibles fossiles classiques aux sources énergétiques de remplacement.

Les priorités particulières peuvent changer selon les conditions, mais, essentiellement, les initiatives de R-D énergétiques de CANMET seront, dans les années à venir, axées sur:

- de nouvelles techniques de valorisation et de substitution pour produire et utiliser des combustibles de remplacement provenant de ressources canadiennes, tout en assurant que celles-ci entraînent le moins de répercussions possibles sur l'environnement;
- de nouvelles techniques d'économie d'énergie qui permettront d'utiliser plus rationnellement les approvisionnements existants de pétrole et d'encourager le passage du pétrole à d'autres sources d'énergie;
- des méthodes d'extraction, de traitement et de transport appliquées à l'industrie de l'énergie qui soient plus acceptables pour l'environnement.

Les exportations de l'industrie minérale et métallurgique constituent une part importante des échanges économiques canadiens. Les mines sont un stimulant essentiel du développement régional et contribuent au peuplement des régions éloignées du pays. Donc, l'un des grands objectifs des travaux futurs de CANMET dans la recherche sur les minéraux consistera à maintenir le Canada à la fine pointe des connaissances dans les techniques d'extraction, de traitement et de fabrication des minéraux, et donc à faire en sorte que l'industrie minérale demeure concurrentielle sur les marchés mondiaux. Parallèlement, la société exige, par la voix du gouvernement, que l'industrie primaire réduise au minimum les dommages à l'environnement et assure la santé et la sécurité de ses travailleurs, dans toutes les étapes de la mise en valeur et de l'exploitation des vastes ressources naturelles. Par conséquent, CANMET continuera d'appuyer les objectifs du Canada par des activités spécifiques de recherche et développement qui aideront à prendre les décisions appropriées en matière de politiques. Ces activités viseront aussi la mise au point de techniques qui protégeront la santé et l'environnement et assureront la sécurité. Elles auront aussi comme objectif de mettre au point des techniques qui aideront l'industrie minière à jouer le rôle important qui lui revient au sein de l'économie canadienne.

Pour plus ample information, s'adresser à la:

Division de l'information technologique
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
555, rue Booth
OTTAWA (Ontario)
K1A 0G1

This publication is also available in English.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984

N° de cat. M39-12/1984F

ISBN 0 662-92541-2